

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

INFORME DE PRACTICA DE ESPECIALIDAD

ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO DE LA CUENCA

DEL RÍO TEMPISQUE, GUANACASTE

Oscar Arias Rodríguez

CARTAGO, 2001

**ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE LA CUENCA
DEL RIO TEMPISQUE**

**Informe presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto
Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar al título de
Bachiller en Ingeniería Forestal**

Miembros del Tribunal

**Dr. Julio Calvo Alvarado,
Profesor Guía**

**Dr. Eugenio González Jiménez,
Representante OET**

**Dr. Edgar Ortiz Malavassi,
Lector**

ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO TEMPISQUE

Oscar Arias Rodríguez^{*}

RESUMEN

El trabajo consistió en construir y curar una base de datos de precipitación de 49 estaciones meteorológicas para el período seleccionado entre 1978 y el 2000 y con ésta, estimar la lluvia media anual y mensual de la cuenca. A dicha base de datos se le aplicó un Análisis de Doble Masa para evaluar su consistencia, además, se estimaron los meses faltantes, con el objeto de incluir el mayor número de estaciones en el periodo de registro seleccionado. Con esta base de datos se obtuvo los promedios anuales y mensuales de precipitación, con los que se procedió a construir los mapas de Isoyetas y Polígonos de Thiessen empleando el Sistema de Información Geográfica, con los programas ArcView 3.2 y Arc/Info 8.01.

Se realizó una comparación de la lluvia media anual y mensual en la Cuenca del Río Tempisque, según tres diferentes métodos: Isoyetas, Polígonos de Thiessen y Promedio Aritmético. Así mismo se compararon los resultados de este estudio con los previamente obtenidos por el Centro Científico Tropical en el año 1998 y la Organización para Estudios Tropicales en el 2000.

El promedio de lluvia media para la Cuenca es de aproximadamente 1790 mm/año, según los tres métodos utilizados. Además por la metodología empleada en este estudio se considera que los resultados son más confiable que los presentados anteriormente por el CCT y la OET, debido a que se utilizó un mayor número de estaciones meteorológicas, se efectuó un análisis de consistencia de los registros de precipitación, se rellenaron los meses faltantes y se estimaron períodos sin registro, conformando así una base de datos de mayor confiabilidad para futuros estudios con un período de registro normalizado para todas las estaciones.

Utilizando los datos de la estación fluviográfica La Guardia se efectuó un análisis de tendencia de cambio del caudal anual en dos períodos diferentes que van desde 1953-1969 y 1984-2000; se detectó una disminución del caudal del río Tempisque entre los dos periodos y se relacionó dicha disminución con la explotación del recurso hídrico, debido a que la merma del caudal se concentra en los meses más secos.

^{*} Informe de Práctica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2001.

HYDROMETEOROLOGIC STUDY OF THE TEMPISQUE RIVER WATERSHED

Oscar Arias Rodríguez*

ABSTRACT

In order to estimate the annual and monthly rainfall for the Tempisque River Watershed, we created and reviewed a database with data from 49 meteorological stations. A Double Mass Analysis was applied to this database evaluate its consistency, also, we estimated missing data in order to include the largest number of stations in the period range. With this data we calculated annual and monthly rainfall averages and generated maps of rainfall Isolineas and Thiessen's Polygons using Arc View 3.2 and Arc Info 8.01 GIS packages.

A comparison was carried out among three different rainfall estimation methods (annual and monthly averages): rainfall Isolineas, Thiessen's Polygons and Arithmetic Average. Likewise, the results of this study were compared with those previously obtained by the Tropical Scientific Center in 1998 and the Organization for Tropical Studies in 2000.

The average rainfall for the watershed is approximately 1790 mm/year, according to the three methods used. Due to the fact we used a greater number at meteorological stations and an analysis at consistency of the precipitation records was performed the results are probably more reliable than those presented previously by CCT and OTS. Addionatly the missing data for some periods or months were estimates resulting in a more reliable database for further studies with a normalized record range for all the stations.

Using data from La Guardia flow station we performed a trends analysis for the change of annual flow in two different periods: from 1953-1969 and 1984-2000. A decrease of the flow of the Tempisque river was detected between the two periods, which could be a result of the exploitation of the water resource, since the reduction flow is concentrated on the driest months.

* Informe de Práctica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2001.

INDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT.....	III
INDICE GENERAL	IV
INDICE DE CUADROS.....	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE MAPAS	VII
INDICE ANEXOS	VIII
DEDICATORIA.....	X
AGRADECIMIENTOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
REVISION DE LITERATURA	2
IMPORTANCIA Y PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA	2
ASPECTOS BIOFÍSICOS DE RELEVANCIA.....	3
<i>La Vegetación y la Fauna</i>	3
<i>Suelos y Uso de la Tierra de la Cuenca del Río Tempisque</i>	3
<i>Hidroclimatología de la Cuenca del Río Tempisque</i>	4
USOS DEL AGUA DE LA CUENCA	4
RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA	5
<i>Inundaciones</i>	7
MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN SOBRE UN AREA O CUENCA.	7
ANÁLISIS DE DOBLE MASA.....	8
RELLENO Y ESTIMACIÓN DE MESES Y PERÍODOS FALTANTES.....	9
GENERACIÓN DE MAPAS DE PRECIPITACIÓN.....	10
MATERIALES Y METODOS	11
FUENTES Y DATOS CONSULTADOS	11
RELLENO Y ESTIMACIÓN DE MESES Y PERÍODOS FALTANTES.....	11
ANÁLISIS DE DOBLE MASA PARA LA PRECIPITACIÓN	12
ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CAMBIO PARA EL CAUDAL EN EL RÍO TEMPISQUE	12

LEVANTAMIENTO DE BASE DE DATOS	13
CONSTRUCCIÓN DE MAPAS MENSUALES Y ANUALES DE PRECIPITACIÓN	13
ESTIMACIÓN DE LLUVIA MEDIA EN LA CUENCA	14
RESULTADOS Y DISCUSION	15
ESTACIONES SELECCIONADAS	15
ANÁLISIS DE DOBLE MASA.....	15
BASE DE DATOS	16
ESTIMACIÓN DE LLUVIA MEDIA EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.....	16
COMPARACIÓN DE ESTIMACIONES DE LLUVIA EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.....	19
ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CAMBIO DEL CAUDAL	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
BIBLIOGRAFIA	32

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.....	4
CUADRO 2. BALANCE HÍDRICO ESTIMADO EN LÁMINA DE AGUA PARA LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.....	4
CUADRO 3. ESTIMACIÓN DE LLUVIA MEDIA, ANUAL Y MENSUAL, SEGÚN ISOYETAS PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	17
CUADRO 4. ESTIMACIÓN DE LLUVIA MEDIA, ANUAL Y MENSUAL, SEGÚN THIESSEN, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.....	18
CUADRO 5. ESTIMACIÓN DE LLUVIA MEDIA, ANUAL Y MENSUAL, SEGÚN PROMEDIO ARITMÉTICO, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.....	18
CUADRO 6. COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTIMADA CON LOS MÉTODOS ISOYETAS Y THIESSEN, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	23
CUADRO 7. COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTIMADA CON LOS MÉTODOS, ISOYETAS Y P. ARITMÉTICO, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	24
CUADRO 8. COMPARACIÓN DE ESTUDIO ACTUAL CON EL REALIZADO POR LA ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICALES, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	25
CUADRO 9. COMPARACIÓN DE ESTUDIO ACTUAL CON EL REALIZADO POR EL CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL, PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.....	26

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESCORRENTÍA REGISTRADA POR LA ESTACIÓN LA GUARDIA, PARA DOS PERÍODOS DIFERENTES.	27
FIGURA 2. CAUDALES PROMEDIO POR MES EN LA ESTACIÓN LA GUARDIA, EN DOS DIFERENTES PERÍODOS.	28
FIGURA 3. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LIBERIA LLANO GRANDE POR MES, EN DOS PERÍODOS DIFERENTES.	29

INDICE DE MAPAS

MAPA 1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA EL TRAZO DE LAS ISOYETAS, EN LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	20
MAPA 2. ISOYETAS ANUALES PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	21
MAPA 3. PRECIPITACIÓN SEGÚN POLÍGONOS DE THIESSEN PARA LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	22

INDICE ANEXOS

ANEXO 1. ESTACIONES UTILIZADAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA MEDIA EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE EN UN PERÍODO DE 23 AÑOS DE 1978 AL 2000.	34
ANEXO 2. ANÁLISIS DE DOBLE MASA REALIZADO A ESTACIONES CON PERÍODO 1978-2000 COMPLETO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.	35
ANEXO 3. ANÁLISIS DE DOBLE MASA REALIZADO A ESTACIONES CON PERÍODO 1978-2000 COMPLETO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	38
ANEXO 4. ANÁLISIS DE DOBLE MASA REALIZADO A ESTACIONES CON PERÍODO 1978-2000 INCOMPLETO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	39
ANEXO 5. ANÁLISIS DE DOBLE MASA REALIZADO A LAS ESTACIONES CON PERÍODO ENTRE 1978 -2000 COMPLETO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BEBEDERO.	42
ANEXO 6. ANÁLISIS DE DOBLE MASA REALIZADO A LAS ESTACIONES CON PERÍODO DE 1978-2000 INCOMPLETO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BEBEDERO.	44
ANEXO 7. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE ENERO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	47
ANEXO 8. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE FEBRERO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE. ..	48
ANEXO 9. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE MARZO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	49
ANEXO 10. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE ABRIL DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	50
ANEXO 11. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE MAYO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	51
ANEXO 12. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE JUNIO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	52
ANEXO 13. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE JULIO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	53
ANEXO 14. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE AGOSTO DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	54
ANEXO 15. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE SETIEMBRE DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	54
ANEXO 16. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE OCTUBRE DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	56
ANEXO 17. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE NOVIEMBRE DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	57

ANEXO 18. MAPA DE ISOYETAS PARA EL MES DE DICIEMBRE DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE.	58
ANEXO 19. ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA MEDIA, ANUAL Y MENSUAL, SEGÚN ISOYETAS DEL ESTUDIO REALIZADO POR LA ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICALES EN LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	59
ANEXO 20. ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA MEDIA, ANUAL Y MENSUAL, SEGÚN ISOYETAS DEL ESTUDIO REALIZADO POR EL CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL EN LAS SUBCUENCAS TEMPISQUE Y BEBEDERO.	59

DEDICATORIA

A Dios, por darme unos padres que
con voluntad y sacrificio me han
brindado la oportunidad
de obtener este título

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Dr. Julio Calvo Alvarado por el apoyo brindado durante el desarrollo de la práctica.

Al Ing. José Antonio Guzmán, encargado del SIG de Palo Verde, por su colaboración y consejos en la elaboración de los mapas.

A la Organización para Estudios Tropicales por su colaboración para que este proyecto se realizara.

Al Dr. Eugenio González por el tiempo y apoyo brindado en la elaboración del documento.

Al Instituto Costarricense de Electricidad por la colaboración con la información solicitada, muy especialmente al señor Porfirio Machado, quien siempre estuvo anuente al préstamo de la información.

A Carolina por todo el apoyo, cariño, comprensión brindado, y especialmente por tenerme tanta paciencia durante el período de conclusión de la práctica.

A mis hermanos, por que han sido un gran apoyo durante toda mi vida.

A mis grandes amigos y compañeros: Pablo Castillo, Geiner Carrillo, Osvaldo Corella, Raúl Piedra, Gustavo Hernández, Abrahan Coto, Mauricio Castillo, Danny Córdoba, Gustavo Alvarado, Juan Carlos León, Sofía Rivera, Vivian Chaves, Ricardo Badilla, Juan Manuel Millán con quienes compartí grandes momentos.

A mis compañeros y amigos de residencias: Albán Monge, Favio Monge, Randall Muñoz, Vinicio Ríos, Alexis, gracias por hacer de las residencias mi segundo hogar.

INTRODUCCIÓN

El estudio Hidrometeorológico de la Cuenca del Río Tempisque se realizó ante la importancia de mejorar las estimaciones del balance hídrico de la cuenca, con el fin de obtener una base de datos hidrológica confiable que permita valorar el recurso en función de las características meteorológicas y hacer proyecciones para la planificación del uso del recurso dentro y fuera de la cuenca. La base de datos hidrometeorológica permitirá en lo sucesivo a otros investigadores e instituciones emplearla para hacer simulaciones y comparaciones. Un tema de gran importancia es la determinación de caudales ecológicos y el impacto del uso del recurso en los ecosistemas fluviales. Este estudio realizó una primera aproximación a este tema como un aporte para iniciar un análisis al respecto. Finalmente es necesario resaltar que la ausencia de una red hidrometeorológica confiable que mida varias características hidrometeorológicas impone la necesidad de emplear y ajustar métodos de estimación, los cuales requieren al menos de una base de datos de precipitación normalizada.

Los registros de precipitación de las estaciones meteorológicas y fluviográficas que conforman la base de datos, están condicionados a no presentarse públicamente, según reglamentos de las instituciones colaboradoras, Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA). Por lo tanto la base de datos que se genere en este estudio será conformada de forma digital y administrada por la OET en su estación Biológica Palo Verde.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conformar una base de datos de precipitación anual y mensual normalizada para la cuenca del Río Tempisque y Bebedero que tome en cuenta al mayor número posible de estaciones y contemple el más largo plazo de observaciones disponibles.

Objetivos Específicos

Construir mapas de Isoyetas y Thiessen de la cuenca con datos promedio anual y mensual de las estaciones seleccionadas y curadas.

Estimar la lluvia media de la Cuenca del Río Tempisque.

Analizar las tendencias de cambio del caudal anual reportados en la estación fluviográfica la Guardia.

REVISION DE LITERATURA

Importancia y Problemática de la Cuenca

La Cuenca del Río Tempisque (CRT), ubicada en la provincia de Guanacaste, esta conformada por las subcuencas Tempisque (cuenca número 74), con un área de 3357 km² y Bebedero (cuenca número 76) con 2047 km², para una extensión total de 5404 km². Es la cuenca más grande de Costa Rica, abarca el 53% de Guanacaste y drena el 10.6% del territorio nacional (Gutiérrez et. al., 1985, citado por Jiménez y González, 2001).

Las aguas del río Tempisque se originan en la Sierra Volcánica de Guanacaste, particularmente en las faldas del Volcán Orosí y recorren un tramo de 144 km (Flores, 1982; Maldonado et al., 1995 citado por Jiménez y González, 2001). Su caudal medio anual es 284 m³/s. Es navegable en 36 km desde la desembocadura hasta la confluencia con el río Bolsón (Vaughan et al., 1996 citado por Jiménez y González, 2001).

La región se destaca por su acervo cultural, además de contar con una importante producción agropecuaria y ser la zona turística más importante del país. En esta cuenca se encuentra la única forma de vida de bosque seco tropical del país. Además la región está interconectada por una extensa red fluvial, con todas sus características y sistemas conexos, como son las áreas de recolección de lluvias, las llanuras de inundación, los bosques ribereños y el estuario.

La Cuenca del Tempisque y el Golfo de Nicoya abarcan un 23% del territorio nacional y conforman una zona de gran importancia económica, ya que cerca del 90% de los productos marinos que se consumen en Costa Rica, particularmente en el área central, provienen del Golfo de Nicoya y este proporciona un alto porcentaje de los camarones exportados al mercado internacional.

Un primer estudio pionero (CCT/WRI, 1991) demostró que en el Golfo de Nicoya el esfuerzo de pesca en relación con la captura se mantuvo estable hasta 1982 año en que se da una reducción del rendimiento de la pesca. El problema se circunscribe a la sobrepesca, la falta de manejo del recurso y su relación con el manejo de toda la cuenca.

La cuenca del Tempisque presenta diversidad de ambientes, desde los bosques nubosos en las cumbres de los volcanes hasta los pantanos y manglares en las partes bajas. Presenta gran cantidad de actividades productivas para la región como el turismo, el cultivo de peces y las plantaciones extensivas de caña y arroz.

En la margen derecha del Río Tempisque, se encuentra un acuífero aluvial formado por capas de arcilla y gravas que están dispuestos en los cauces antiguos del río y de sus afluentes (Reynolds, 1997).

En las últimas décadas, la proliferación de megaproyectos turísticos ha producido impactos en los sistemas naturales de la región, que junto a las inundaciones y la sequía, limitan el desarrollo productivo tradicional.

El control de las inundaciones por medio de infraestructuras, sumado a la desmedida extracción de aguas superficiales y subterráneas para riego, amenaza la integridad ecológica de la región. El manejo del agua en esta cuenca se convierte en uno de los aspectos de mayor importancia. Del adecuado manejo de este recurso depende la producción y el desarrollo de la región.

Aspectos Biofísicos de Relevancia

La Vegetación y la Fauna

Se han identificado 144 especies de árboles, 306 aves, 111 mamíferos, 15 reptiles y 22 anfibios en las áreas protegidas de la CRT, aunque la superficie en áreas protegidas dentro de la cuenca es de 611 km². La protección de áreas fluvio ribereñas es pobre, se puede estimar que solo hay 14 km² bajo protección en 1050 km de longitud de los ríos principales de la Cuenca. Esto indica que se debe hacer un esfuerzo significativo no sólo para proteger lo que queda, sino para restaurar ecológicamente lo demás.

Con riberas restauradas se ofrece mayor protección y estabilidad para la zona de saturación, que es más húmeda y de alta escorrentía superficial. Esta área contribuye a la filtración de sedimentos y a la eliminación de contaminantes biodegradables. La descomposición de materia orgánica vegetal que se da en estas zonas es esencial contribuyente de la red alimentaria de los estuarios, en este caso, del Golfo de Nicoya.

Suelos y Uso de la Tierra de la Cuenca del Río Tempisque

Se han identificado más de 20 subgrupos de suelos que forman parte de 5 órdenes taxonómicos, incluyendo alfisoles, entisoles, inceptisoles, mollisoles y vertisoles.

La cuenca se puede dividir en 29 diferentes zonas, con fines agropecuarios, forestales o de protección. Aproximadamente un 25% del territorio total de la CRT tiene el potencial para desarrollar cualquiera de las tres actividades. Las limitaciones más importantes se deben al factor suelo, por la presencia de suelos moderadamente finos o moderadamente gruesos, erosión, efectos del drenaje, y presencia de neblina moderada. A menor escala, la profundidad efectiva del suelo y la fertilidad del mismo.

La CRT cuenta con actividades agropecuarias como producción de arroz, caña de azúcar, melón, ganadería, 20 áreas silvestres protegidas bajo diferentes categorías de manejo, protección y humedales (Jiménez y González, 2001).

En el Cuadro 1, se presentan los diferentes usos del suelo para la Cuenca del Río Tempisque.

Cuadro 1. Uso del Suelo en la Cuenca del Río Tempisque.

Uso del Suelo	Área Cubierta (has)
Arroz	25 532 *
Caña de azúcar	19 977
Melón	6 980
Pasto con árboles	28 500
Pasto	67 000
Áreas protegidas	73 002
Humedales	10 289
Otros	1 000

*Hectáreas de arroz sembradas en la década de los 90.

Fuente: Calvo, 1998.

Excel

Hidroclimatología de la Cuenca del Río Tempisque

Cuenta con un régimen climático tropical seco y con una distribución irregular de lluvias durante el año (SENARA-IICA, 1991).

Dentro de la cuenca existen 44 estaciones meteorológicas, algunas de las cuales cubren el período desde 1921 hasta la fecha.

El balance hídrico de la Cuenca se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Balance hídrico estimado en lámina de agua para la Cuenca del Río Tempisque.

Variable	Subcuenca Río	
	Tempisque	Bebedero
Lluvia (mm)	1746	1629
Escorrentía (mm)	850	820
EVPT Real (mm)	896	809
EVPT Potencial (mm)	1889	1862
Caudal (m ³ /seg)	92	53
Adicional (Embalse Arenal)		97

Fuente: Calvo, 1998.

Excel

Usos del Agua de la Cuenca

La Cuenca presenta diferentes usos del agua, como el Complejo de aprovechamiento ARCOSAN-PRAT, el cual aprovecha un caudal de 97.5 m³/seg del embalse. El PRAT toma esta agua en la presa Magdalena y distribuye en el Canal del Sur 30 m³/seg en 8.5 km del canal principal para los distritos de Cañas, Lajas y Abangares con un área regable de 17 800 has.

El canal del Oeste tiene una capacidad de $55 \text{ m}^3/\text{seg}$, y es para los distritos de Piedras, Cabuyo y Tempisque con un área de 30 700 ha, con un primer tramo de 21.7 km de longitud de canal principal.

Se tienen depósitos aluviales y coluviales con espesores de 40 metros y caudales de 25 a $100 \text{ m}^3/\text{seg}$. En la explotación de Aguas Subterráneas MDRT, se tienen registros que indican que en Carrillo y Santa Cruz se extraen 307 litros/seg para los acueductos (175 y 132 litros/seg respectivamente). Se estima que un volumen igual se extrae para riego de 150 km^2 con un volumen de bombeo continuo de 600 litros/seg que equivale a $126\,000 \text{ m}^3/\text{km}^2 \text{ año}$ (Jiménez y González, 2001).

Se debe tomar en cuenta que la recarga estimada de este acuífero es de $296,645 \text{ m}^3/\text{km}^2 \text{ año}$ por lluvia y $641,000 \text{ m}^3/\text{km}^2 \text{ año}$ por escorrentía superficial procedente de las serranías.

Las áreas de recarga más importantes son: Aluviones de la MDRT, Tobas de Bagaces, formaciones volcánicas en la Cordillera.

Resumen de la Problemática de la Cuenca

El principal impacto sobre la red fluvial en el área del Tempisque es el cambio del caudal de los ríos principales debido a extracciones para irrigación y uso agroindustriales, además de la modificación sobre la morfología del sistema fluvial, causada por la canalización, represamientos, el drenaje, el relleno y la modificación de las riveras y cauces. Las actividades agrícolas a la orilla del río han favorecido la fragmentación de los hábitats ribereños, incidiendo negativamente en la conservación de la diversidad biológica y el dinamismo ecológico.

El impacto de obras públicas es notorio: se construyen puentes y caminos sin considerar el impacto ambiental. No existen audiencias públicas para conocer la profundidad de los estudios ambientales de tal obra.

Otra categoría de impacto es la degradación de la calidad del agua, tanto por contaminación física por sedimentos como a contaminación por fuentes puntuales (agroindustrias, plantas de tratamiento de aguas urbanas y vertidos de plaguicidas).

La degradación de la calidad del agua también se manifiesta en el aumento de la demanda biológica por oxígeno y la disminución de oxígeno en el agua (Jiménez y González, 2001).

Según Bolaños et al. (1998), la evapotranspiración potencial anual de la CRT es de 1 879 mm. Esto significa que la precipitación anual en la CRT es inferior a la evapotranspiración, con un déficit de 283 mm por año, por esta razón la CRT está sujeta a sequías durante años con déficit hídricos muy marcados (Castro y Villegas, 1987 citado por Jiménez y González, 2001). Estas sequías sumado al exceso de aprovechamiento del agua, provoca la escasez del recursos en toda la cuenca.

Además se dan actividades que contaminan los ríos en la Cuenca, según Taller El Agua en el Río Tempisque: Calidad, Flujos y Conservación, realizado en 1998 (Calvo, 1998).

a. Alcantarillado Urbano y Aguas Residuales

Solo tres ciudades cuentan con sistemas de tratamiento de aguas servidas Liberia, Cañas y Santa Cruz y actualmente solo un 35% de la población urbana cuenta con este tipo de servicios. Esto se debe a que la expansión de las ciudades y la falta de ampliación de las instalaciones, imposibilitando la conexión al servicio.

Además en los centros urbanos existen conexiones ilícitas de aguas residuales o vertidos al alcantarillado urbano principalmente de talleres.

b. Letrinas y Aguas Servidas

El establecimiento de letrinas en las zonas rurales es común, aunque es preferible el uso de tanques sépticos. El problema existente es que en las zonas más bajas de la Cuenca las inundaciones de los ríos rebalsan las letrinas ocasionando una severa contaminación fecal.

Las aguas servidas domésticas no son un grave problema ambiental pero si puede conducir a problemas estéticos.

c. Aguas residuales en Industria Agropecuaria

-Industria de la Caña: La azucarera el Viejo extrae un caudal de 0.5 a 1 m³/segundo, directamente del Río Tempisque. Azucarera Tempisque (CATSA): Se extrae 1 m³/seg. Tiene producción de etanol 96%, con 12.6 litros de vinaza por litro de etanol. Ingenio Taboga: utiliza 300 litros/seg.

-Beneficios de Café: De importancia solo los beneficios del COPELDOS, ya con lagunas y tratamiento de desechos y COOPETILA, que cumple con las directrices de gestión y drena de todas maneas a la Laguna Arenal.

- Porquerizas: No hay estadísticas para la cuenca pero a nivel nacional se sabe que un 30% de ellas descargan directamente a los cuerpos de agua con DBO de 8,400 a 35,000 mg/l, un 70% tiene separadores de sólidos y 40% tienen lagunas.

d. Producción Geotérmica

El proyecto Miravalles del ICE puede contaminar las aguas superficiales con aguas extraídas del interior de la tierra, los estudios indican que la contaminación es mínima debido a las obras de tratamiento y control.

e. Basura de centros urbanos y rurales

Solo Liberia y Filadelfia cuentan con algún manejo de los botaderos de basura, las demás ciudades son depósitos libres. Se estima que la producción per cápita de basura en la cuenca es de 0.7 kg. (0.96 kg en el Gran Area Metropolitana).

En las zonas rurales algunas casas emplean fosas de desechos con un manejo mínimo, pero aún existen las prácticas de desechar la basura en hondonadas y orillas de ríos. Por lo tanto con la gran cantidad de desechos que se producen por día la contaminación en los cauces de ríos es

muy alta. Un ejemplo de la producción de basura es la que se da en los siguientes cantones: Filadelfia 2 ton/día incluyendo muchas playas, Liberia 4 ton/día, Cantón de Bagaces 0.7 ton/día y Tilarán 1 Ton/día.

f. Contaminación por Agroquímicos

- Mayoría son organoclorados (persistencia en el ambiente, tóxicos).
- 45% se consideran que no tienen riesgo de intoxicación aguda para los humanos y organismos de fisiología similar si se emplean correctamente.
- 66% son plaguicidas tóxicos para los peces, un 32% es altamente tóxico y un 34% son extremadamente tóxicos.
- 41% son extremadamente peligrosos y 24% altamente peligrosos para los crustáceos.
- 67% son ligeramente peligrosos y un 13% medianamente peligrosos para las aves.
- 41% ligeramente peligrosos para las abejas.

Inundaciones

Presenta inundaciones periódicas en la época lluviosa y causan daños a cultivos, infraestructura y asentamientos humanos en las partes medias y bajas (Bolaños et al., 1998 citado por Jiménez y González, 2001). Estos episodios se deben, en parte, a problemas de drenaje, la topografía plana - cóncava de la región, la impermeabilidad de algunos suelos de la cuenca baja y a la construcción de diques en ríos y quebradas.

Un ejemplo de las pérdidas por inundaciones se dio en 1999 en el cantón de Carrillo, de 3000 has de arroz, 2000 has fueron afectadas severamente y 250 has con pérdidas totales; de 14000 has de caña, 10000 fueron fuertemente afectadas y 200 has totalmente destruidas y cerca de 2000 personas quedaron sin trabajo.

En general, el déficit o la presencia excesiva de agua han sido conflicto para la Cuenca del Río Tempisque. Durante la época seca hay una fuerte competencia por acceso a las fuentes de agua. Las grandes compañías con plantaciones de caña de azúcar y arroz tienen la capacidad de extraer altos volúmenes de aguas superficiales y subterráneas (IICA-CEPPI, 1993 citado por Jiménez y González, 2001), lo cual limita el acceso a comunidades y agricultores río abajo.

Métodos para la Estimación de Precipitación Sobre un Area o Cuenca.

Existen tres métodos para estimar la precipitación, puede ser diaria, mensual, anual, entre otras (Calvo, 1996).

Promedio Aritmético

Es el método más simple y consiste en obtener el promedio aritmético de la precipitación registrada en las estaciones dentro del área o cuenca. Los resultados de este método son más aceptables si se trata de terrenos planos, con distribución uniforme de estaciones y en donde la variación de precipitación entre estaciones sea mínima.

Polígonos de Thiessen

Cuando existe una inadecuada distribución de las estaciones, este método emplea un factor de corrección en función del área de influencia de cada estación, el cual ayuda a mitigar el efecto de la distribución de estaciones. La técnica consiste en unir todas las estaciones con triángulos, luego se trazan líneas perpendiculares al centro de cada línea (bisectores) que van a formar los polígonos. El área definida por cada polígono es el área de influencia de la estación y se expresa como área relativa de la cuenca. La lluvia total estimada es el resultado de la multiplicación de los datos de lluvia de cada estación por el área relativa de influencia de las estaciones. Este método tiene la ventaja de aprovechar la información de estaciones vecinas, sin embargo no permite contemplar aspectos orográficos y de distribución de las lluvias.

Isoyetas

Se considera el método más recomendable, consiste en trazar isolíneas de precipitación empleando los datos de precipitación de las estaciones. La precipitación media se obtiene al multiplicar la precipitación promedio entre isoyetas por el área relativa que se encuentra entre estas.

Análisis de Doble Masa

El análisis de homogeneidad de datos se puede realizar por el método gráfico la curva de doble masa y el análisis estadístico. Este análisis gráfico se utiliza para detectar posibles errores producto de la obtención de los mismos y para corregir la información disponible. El gráfico de los datos acumulados de varias estaciones, contra los datos acumulados de otra, es una línea recta tan extensa como la relación entre ellas se mantenga en proporción estable (James y Clayton, 1985).

La curva de doble masa compara la información de una estación contra la información de varias estaciones base confiables a la vez (incluyendo la misma estación en prueba). Estas comparaciones permiten establecer errores en los registros. Estos errores pueden algunas veces ser corregidos, o en su defecto permiten establecer los períodos de registro más homogéneos (confiables) y por tanto los más recomendables para ser empleados en un análisis hidrológico. Se procede de la siguiente manera:

- a. Graficar en eje de las coordenadas X, el promedio de la información anual (mensual o estacional) acumulada de todas las estaciones confiables seleccionadas, en el eje de las Y la información anual acumulada de la estación en prueba. Se inicia la suma de los valores a partir del primer año de mediciones. Todas las estaciones incluidas en la prueba de doble masa deben tener registros para un mismo período. Si en los registros de las estaciones hay meses o años sin datos estos pueden ser sustituidos empleando el método de razón normal.
- b. El análisis de la curva de doble masa permitirá detectar cambios de posición del pluviómetro, cambios en la distribución de los vientos por el crecimiento de árboles, construcción de edificios, entre otros. En el caso de limnigramas se puede detectar las

alteraciones de la cuenca, como el desvío de aguas superficiales o la llegada a la cuenca de aguas de otras cuencas. Hay tres casos típicos de problemas en las curvas de doble masa, los cuales se describen a continuación:

- Error de lectura en un año por causa de un quiebre o salto en la línea recta.
- Declive de los puntos indicando que la estación en prueba por varias razones está registrando menos o más cantidad que las estaciones base.
- Cambio abrupto de pendiente en la curva.

Los cambios de pendiente en la curva deben ser bien identificados y con investigación paralela determinar sus causas. Es muy común encontrar inconsistencias pequeñas que no necesariamente requieran ajuste de datos o eliminación de años. Cambios consistentes por largos períodos (más de cinco puntos sucesivos) se consideran serios en el registro. Dado que algunos cambios pueden ser el efecto del azar y no de error de medición u otras razones, los cambios de pendiente de la curva deben ser probados estadísticamente para medir su validez. Para esto se puede emplear la comparación de pendientes de ecuaciones de regresión o el análisis de varianza (Calvo, 1996).

Relleno y Estimación de Meses y Períodos Faltantes

Se pueden hacer estimaciones de datos faltantes. Muchas estaciones pluviométricas pierden el dato de lluvia por falta del instrumento, ausencia del lector, entre otros. Excepto por estas pérdidas esporádicas de información la estación se considera consistente y de buena calidad. Por lo tanto es importante estimar la información faltante para completar el registro de la estación. El método más empleado es el conocido como Razón Normal descrito por Calvo (1996), el cual requiere de la utilización de la información de al menos tres estaciones vecinas de comprobada consistencia.

$$P_x = 1/3 ((N_x/N_a)*P_a + (N_x/N_b)*P_b + (N_x/N_c)*P_c)$$

Donde:

P_x = Precipitación estimada de la estación.

N_x, N_a, N_b y N_c = Precipitación promedio de las estaciones.

P_a, P_b y P_c = Precipitación en las estaciones a, b y c correspondientes al período faltante de la estación x.

Cuando estaciones que tienen una ubicación estratégica en la Cuenca no cuentan con el período completo, se puede realizar la estimación de los períodos faltantes, con la siguiente fórmula:

$$EPF = (Ppe/Ppc) * Ppt$$

EPF : Estimación de períodos faltantes.

Ppe : Promedio mensual del período con que cuenta la estación.

Ppc: Promedio mensual del período (equivalente a la estación en estudio) de todas las estaciones pertenecientes a la misma cuenca.

Ppt: Promedio mensual de todo el período, en todas las estaciones pertenecientes a la misma Cuenca.

Generación de Mapas de Precipitación

Para la creación del mapa de precipitación es necesario contar con registros de precipitación, distribuidos en diferentes puntos. Los programas especializados de Sistemas de Información Geográfica utilizan diferentes métodos de procesamiento de esta información, por medio de la interpolación de datos de precipitación.

Según Fallas (1998) la interpolación es un instrumento que permite estimar, a partir de una muestra y de una función matemática, el valor esperado de una variable. En un mapa digital la interpolación es utilizada para generar una superficie a partir de un conjunto de puntos y de una ecuación matemática.

Fallas (1998) clasifica los métodos de interpolación en dos grandes categorías: los que asumen una superficie discreta y los que asumen una superficie continua, dentro de los métodos de uso frecuente en la interpolación están: métodos de interpolación global y local, entre los cuales se tienen Spline, Kriging e IDW (Inverse distance weighted).

Spline (Curva Mínima)

Es un conjunto de polinomios cúbicos que describen la tendencia o magnitud de una línea. El interpolador ajusta una línea de curvatura mínima a partir de puntos. Este método de interpolación es adecuado para superficies que varían en forma gradual, tales como: elevación, concentraciones de contaminantes y altura de la tabla de agua. También es muy utilizado en geología, edafología, geomorfología y climatología. Cuando los cambios son abruptos en cortas distancias, no se puede utilizar este interpolador (Fallas, 1998).

MATERIALES Y METODOS

Fuentes y Datos Consultados

La información con la que se cuenta es toda aquella que esté disponible en las diferentes estaciones que comprenden la red meteorológica del área en estudio y que son administradas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA). También se recurrió a documentación bibliográfica, como ediciones de Anuarios Meteorológicos y Boletines Hidrológicos distribuidos por el IMN y el ICE respectivamente.

Inicialmente se contó con una base de datos de la OET, ICE y otra información disponible en anuarios para un total de 64 estaciones con datos de diferentes períodos, pero para la construcción de los mapas de Isoyetas, Polígonos de Thiessen y estimación de la lluvia media de la Cuenca se seleccionaron solo 49 estaciones de precipitación para los años 1978 al 2000, para un total de 23 años en estudio.

De las 49 estaciones, 21 pertenecen a la Subcuenca del Río Tempisque (Número 74), 16 a la Subcuenca del Río Bebedero (número 76), 7 a la Cuenca del Río San Juan (número 69) y 3 pertenecen a la Cuenca de Los Ríos de La Península de Nicoya (número 72). Además de las 49 estaciones utilizadas 4 se utilizaron como puntos de apoyo o control, las cuales se mencionan a continuación: Monte Verde (78002), Las Juntas de Abangares (78001), Hacienda Guayabo (74030) e Ingenio el Viejo (76011). (ver lista de estaciones anexo 1).

En el caso del análisis de cambio del caudal, el estudio se limitó a la parte alta de la Subcuenca del Río Tempisque, específicamente en la estación la Guardia (número 741901), por ser la única que cuenta con el mayor período de registros confiable, según el ICE. Con esta estación se compararon dos períodos disponibles, cada uno de 17 años (años hidrológicos). Un período va del año 1953 a 1969 y el otro de 1984 al 2000. Cabe mencionar que entre los años 1970 a 1979 esta estación dejó de operar, con lo cual se tomó la decisión de comparar dos períodos con el mismo número de años, seleccionando los últimos 17 años para el período 1984-2000.

Los datos de la estación fluviográfica la Guardia se obtuvieron de los Boletines Hidrológicos del ICE, hasta el año 1993 y de este año al 2000 el ICE suministró la información bajo las siguientes condiciones: la utilización de la información sea para fines académicos y manejo confidencial de la información; por lo que los registros mensuales de precipitación y caudal no se incluyen en este documento.

Relleno y Estimación de Meses y Períodos Faltantes

En muchas de las estaciones utilizadas, se encontraron datos faltantes, por lo que se aplicó el relleno de datos con el fin de completar el registro utilizando el método de la Razón Normal.

La base de datos en donde se explica las estaciones utilizadas para el relleno de datos faltantes (estaciones vecinas) no se encuentra en este documento.

El período seleccionado para la estimación de lluvia sobre la cuenca fue de 1978 al 2000 debido a que el mayor número de estaciones meteorológicas cuentan con información para este período; un total de 22 estaciones cuentan con registros completos. Adicionalmente se incrementó la base de estaciones con 23 pluviógrafos y pluviómetros que contaban con al menos 8 años de registro continuo dentro del período 1978-2000. Los promedios de los registros de estas estaciones se ajustaron a los promedios del período 1978-2000 empleando estaciones pertenecientes a su respectiva subcuenca y el método de estimación de períodos faltantes. Las cuatro estaciones restantes se utilizaron como puntos de apoyo, por lo que los registros de precipitación son diferentes a los períodos utilizados por las estaciones con datos completos e incompletos.

Análisis de Doble Masa para la Precipitación

Los datos hidrométricos recolectados se sometieron al ADM descrito por Calvo (1996). Se realizó el ADM para 47 estaciones, se excluyeron Monte Verde (número 78002) y Las Juntas de Abangares (número 78001), por no contar con otras estaciones pertenecientes a la misma cuenca y con el mismo período.

Para realizar el ADM se debe de disponer de información homogénea, por lo que se dividió la cuenca por subcuencas. Dentro de la misma subcuenca se encontraron estaciones con distintos períodos a las que se les debió realizar un ADM para cada período existente con las estaciones que posean el período evaluado. Esto se realizó antes de efectuar el ajuste de promedios al período 1978-2000, de tal manera que las estaciones ajustadas ya se les había evaluado la consistencia de datos.

En el caso de la Subcuenca del Río Tempisque se encontraron 6 estaciones (74006, 74011, 74012, 74014, 74019 y 74020) con período completo y 19 con períodos incompletos que van desde 8 hasta 15 años. La Subcuenca del Río Bebedero cuenta con 9 (76002, 76006, 76016, 76020, 76021, 76022, 76024, 76029 y 76034) estaciones con período completo y 17 con información incompleta. Para la cuenca del Río San Juan se cuenta con 7 estaciones, cuyos períodos son completos. En la Cuenca de los Ríos de la Península de Nicoya se tienen 3 estaciones, sin embargo su ADM se incluyó junto a las estaciones de la Subcuenca del Río Tempisque, debido a su cercanía y semejanza de promedios de precipitación.

Análisis de Tendencia de Cambio para el Caudal en el Río Tempisque

Para este análisis se trabajó con los registros de caudal (m^3/seg y mm) del pluviógrafo La Guardia (número 74019) y se compararon con los datos de precipitación (mm) de la estación Liberia Llano Grande. Se seleccionó esta estación porque es la de registro más amplio, ubicada cerca de la estación La Guardia.

La información obtenida de la estación Liberia Llano Grande se normalizó y se le aplicó el Análisis de Doble Masa con las estaciones Hacienda Tempisque (74011), Nicoya (72101),

Santa Cruz (74003), Quebrada Grande (74004), cuyos períodos de precipitación disponibles abarcan los períodos de la estación Liberia Llano Grande hasta 1986, de este año al 2000 no se normalizó ni se aplicó análisis de doble masa, debido a falta de estaciones vecinas con estos años.

Levantamiento de Base de Datos

Se elaboró una base de datos con un total de 49 estaciones de lluvia, donde se incluye la siguiente información: nombre de la estación y de la cuenca a la que pertenece, # identificación, coordenadas geográficas, metros sobre el nivel del mar. Además la precipitación por año y por mes, en el caso de las estaciones con registros completos; en estaciones con registros incompletos la precipitación por año y mes del período que posea, además de una estimación del promedio para el período de 23 años (1978-2000). Así mismo para cada estación se obtuvo promedio y desviación estándar anual y mensual.

Construcción de Mapas Mensuales y Anuales de Precipitación

El trabajo correspondiente a la construcción de mapas se realizó en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Estación Biológica Palo Verde, Bagaces Guanacaste, Costa Rica, propiedad de la Organización para Estudios Tropicales (OET). En el desarrollo de este trabajo se utilizó el siguiente equipo: Computadora con procesador PENTIUM III DE 350 Mhz, Impresora de inyección de tinta. Además se utilizaron los siguientes programas: ArcView versión 3.2, Arc/Info versión 8.1, Erdas Image y Convertx.

En la elaboración de los mapas se utilizaron dos metodologías, las Isoyetas y los Polígonos de Thiessen, en cada caso se elaboró un mapa anual y uno para cada mes del año, la información utilizada corresponde a los promedios anuales y mensuales del período entre 1978 y 2000, utilizando los datos normalizados de las estaciones pluviométricas seleccionadas.

Para la construcción de los mapas, primero se realizó una base de datos en excel, en donde se incluyó la identificación y nombre de cada estación, su ubicación en coordenadas Geográficas, Lambert Norte y UTM, la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) y sus respectivos registros de precipitación mensual y anual para el período de 1978 y el 2000. Las coordenadas Lambert Norte y las UTM se calcularon en el programa Convertx y ERDAS IMAGE 8.5 respectivamente. El Datum utilizado es el WGS84 y la Zona 16 Norte.

Después de terminada la base de datos en Excel, se guardó en formato DBF. Se importó el archivo de Excel a ArcView y se convierte en formato SHP con "convert to shape". La interpolación se realizó con el programa Arc/Info, por lo que este archivo con formato SHP, se convirtió en archivo Arc/Info, con el comando ARCSHAPE. La interpolación se realizó con SPLINE, y se utilizó el siguiente esquema: Spline se utiliza en GRID en Arc/Info. Para la creación del grid de la precipitación se utilizaron los parámetros de Regularized con un peso "weight" de 0.01, un número de puntos de 12 y la resolución de 5 m, no se utilizaron "x" y "y" máximos y mínimos. Ejemplo de las opciones desarrolladas con Spline:

MED_Spline = SPLINE (<cobertura de estaciones>, <ítem de precipitación>,regularized, 0.01,12,100, #).

Los contornos o isoyetas se realizaron en Arc/Info, las líneas se definieron cada 100 mm para el mapa anual y de 50 a 10 mm en el caso de los mapas mensuales, dependiendo de que con cual distancia entre líneas se apreciará mejor. Los Polígonos de Thiessen se realizaron en el programa ArcView, utilizando la extensión llamada Thiessen.

Una vez construidas las coberturas se recortaron al tamaño de la cuenca del Tempisque en el programa Arctoolbox, con el subcomando CLIP. El último paso fue la construcción de los mapas para lo que se utilizó Arcmap.

Estimación de Lluvia Media en la Cuenca

La estimación de la lluvia media de la Cuenca del Río Tempisque se realizó con tres metodologías: Isoyetas, Polígonos de Thiessen y el Promedio Aritmético.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estaciones Seleccionadas

Se seleccionaron un total de 49 estaciones, distribuidas fuera y dentro de la Cuenca del Río Tempisque, la distribución de las mismas se presenta en el Mapa 1. El nombre de las estaciones con su respectiva identificación se encuentra en el Anexo 1.

El período de las estaciones utilizadas como puntos de control no corresponde en su totalidad al estudiado, pero debido a la falta de información en los lugares donde se encuentran estas estaciones, se incluyeron. Su selección al igual que el de estaciones fuera de la Cuenca del Río Tempisque, se realizó con el fin de obtener una mejor distribución de información, para mejorar la interpolación de los datos de precipitación; favoreciendo una distribución de estaciones más regular dentro de la cuenca.

A pesar de incorporar estaciones con registros incompletos y como puntos de control algunas áreas de la cuenca muestran extensiones sin estación, como las que se observan entre Cartagena y la Guinea, Cañas Dulces y Quebrada Grande, Hacienda Las Loras y La Fortuna de Bagaces, Taboga y Quebrada Honda, Hacienda Las Loras y Puerto Humo (Mapa 1).

Análisis de Doble Masa

Las figuras del Análisis de Doble Masa para todas las estaciones se presentan en los anexos 2, 3, 4, 5 y 6. Como lo muestran las figuras mencionadas, las estaciones seleccionadas presentan una buena consistencia de los datos de precipitación, no se presentó ninguno de los tres casos que menciona la literatura (quiebre de tendencia, declive de tendencia y cambio de ubicación), se encontraron pequeñas inconsistencias pero todas ellas menores a 5 años consecutivos, por lo que no fue necesario la eliminación de períodos ni el ajuste de datos. Además la consistencia de los datos de las estaciones se puede observar con el índice de correlación es cercano a 1 y entre más se acerque a este valor la precipitación es más homogénea a través de los años en estudio y en cada una de las estaciones utilizadas para el Análisis de Doble Masa.

La decisión de agrupar el Análisis de Doble Masa por subcuencas y por períodos se debe a que este análisis compara la información de una estación con las otras, por lo que estas deben estar expuestas a un similar régimen de precipitación, además de que si los registros son de los mismos años se tiene la certeza de que se pueden comparar, ya que se supone que en esos años y para esa zona en particular se debió registrar similar cantidad de precipitación. Cualquier inconsistencia en los datos para una estación en particular sería analizada estrictamente, ya que en las otras con semejantes características no se presentaron.

Base de Datos

La base de datos de las estaciones utilizadas en la construcción de los mapas de Isoyetas, Polígonos de Thiessen y en el cálculo de lluvia media para la Cuenca del Río Tempisque se presenta en forma digital en un disco compacto propiedad de la OET, para tener acceso a esta información se necesita la autorización del ICE y la OET.

Esta base de datos ha permitido consolidar la información para un mismo período, con lo cual se da una mejor estimación lluvia media, por lo tanto mejor distribución de las isoyetas y construcción de Polígonos de Thiessen. Mediante la estimación de períodos faltantes se logró adicionar estaciones que antes se eliminaban por su corto registro lo cual permite mejora las estimaciones.

Estimación de Lluvia Media en La Cuenca del Río Tempisque

La precipitación anual según Isoyetas y Thiessen para la Cuenca del Río Tempisque, se presenta en los mapas 2 y 3 respectivamente. Los mapas de Isoyetas mensuales se presentan del Anexo 7 al 18.

En la parte este de la Cuenca se tiene una mejor distribución de las estaciones, tanto dentro como en la periferia (Mapa 1), por lo que en el momento de la interpolación produce un mejor trazo de las isoyetas para esa zona, al contrario en la parte central, e inferior del costado oeste, la cuenca tiene muy pocas estaciones meteorológicas provocando un trazo menos ajustado de las isoyetas.

El mismo caso se presenta en el mapa de Polígonos de Thiessen, donde en la zona de mejor distribución de estaciones se presentan un mayor número de polígonos; disminuyendo el área de influencia de cada estación generando una estimación más confiable. Sin embargo en donde la distribución de estaciones es más distante el polígono es de mayor tamaño lo cual disminuye la precisión de la estimación.

En la estimación de lluvia media mediante Polígonos de Thiessen se incluyen estaciones que se encuentran en la periferia y que se tomaron en cuenta al constituirse en polígonos, estas son: Las Juntas de Abangares (78001), Nicoya (72101), San Bosco (69559), Azul (69553), El Silencio (69545), Nueva Trovadora (69585) y Tejona (69552).

En los cuadros 3, 4 y 5 se presenta la lluvia media anual y mensual para la Cuenca del Río Tempisque, estimada según Isoyetas, Polígonos de Thiessen y Promedio Aritmético respectivamente.

Cuadro 3. Estimación de lluvia media, anual y mensual, según Isoyetas para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Isoyetas	Precipitación (mm) Subcuenca		Precipitación (mm) Total Cuenca
	Bebedero	Tempisque	TEMPISQUE
Anual	1770	1819	1800
Enero	22	12	16
Febrero	17	6	10
Marzo	10	5	7
Abril	44	42	43
Mayo	204	219	214
Junio	233	264	252
Julio	170	157	162
Agosto	223	233	229
Setiembre	350	374	365
Octubre	326	346	338
Noviembre	124	128	127
Diciembre	56	36	44

Fuente: Mapas Climáticos.

Excel

Según los datos la diferencia entre el total de lluvia de las estaciones es bien marcada: 120 mm/estación seca (diciembre, enero, febrero, marzo y abril) y 1687 mm/estación lluviosa (mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre).

Al comparar los valores de precipitación se observa una similitud entre los valores de la Cuenca del Río Tempisque y los de la Subcuenca del mismo río, esto se debe a que la Subcuenca del Tempisque tiene mayor área que la Subcuenca del Bebedero, por lo que influye más en el valor total de precipitación en la cuenca.

Además es importante señalar que el mes más seco de la cuenca es marzo con 7 mm/año y el más lluvioso setiembre con 365 mm/año.

Cuadro 4. Estimación de lluvia media, anual y mensual, según Thiessen, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Isoyetas	Precipitación (mm) Subcuenca		Precipitación (mm) Total Cuenca
	Bebedero	Tempisque	TEMPISQUE
Anual	1792	1790	1791
Enero	24	8	14
Febrero	19	5	10
Marzo	12	4	7
Abril	44	40	42
Mayo	199	220	212
Junio	233	260	249
Julio	177	157	164
Agosto	225	231	229
Setiembre	342	374	362
Octubre	327	337	333
Noviembre	130	124	126
Diciembre	60	31	42

Fuente: Mapas Climáticos.

Excel

Al analizar la información derivada de Polígonos de Thiessen se aprecia que la precipitación es similar en el caso de las subcuencas Bebedero y Tempisque, con una diferencia en la lluvia media anual de tan solo 2 mm y entre mes y mes de 16 mm.

Cuadro 5. Estimación de lluvia media, anual y mensual, según P. Aritmético, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Isoyetas	Precipitación (mm) Subcuenca		Precipitación (mm) Total Cuenca
	Bebedero	Tempisque	TEMPISQUE
Anual	1765	1805	1785
Enero	28	13	20
Febrero	17	4	11
Marzo	11	5	8
Abril	39	38	39
Mayo	189	226	208
Junio	223	264	243
Julio	181	157	169
Agosto	226	237	232
Setiembre	330	370	350
Octubre	319	335	327
Noviembre	132	121	127
Diciembre	69	34	52

Fuente: Anexo 1.

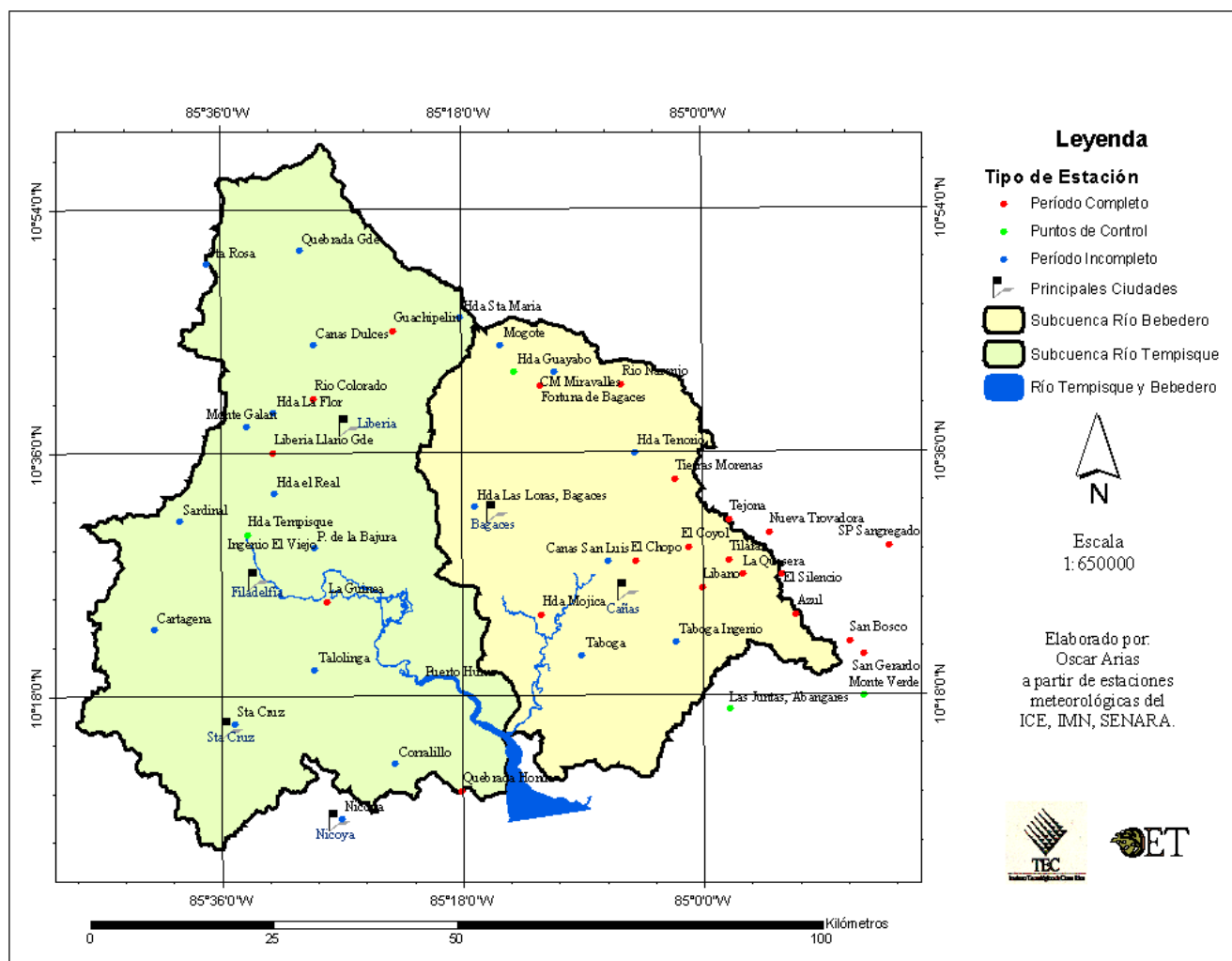
Excel

La Subcuenca Tempisque tanto en el método de isoyetas como promedio aritmético presenta valores más altos de precipitación media que la Subcuenca Bebedero, solo Thiessen presenta valores un poco más altos en la Subcuenca Bebedero. Esto se debe a que los polígonos de Thiessen toman registros de precipitación de estaciones que pertenecen a la Cuenca del Río San Juan cuyo régimen de precipitación es más alto que el de la cuenca en estudio.

Comparación de Estimaciones de Lluvia en la Cuenca del Río Tempisque.

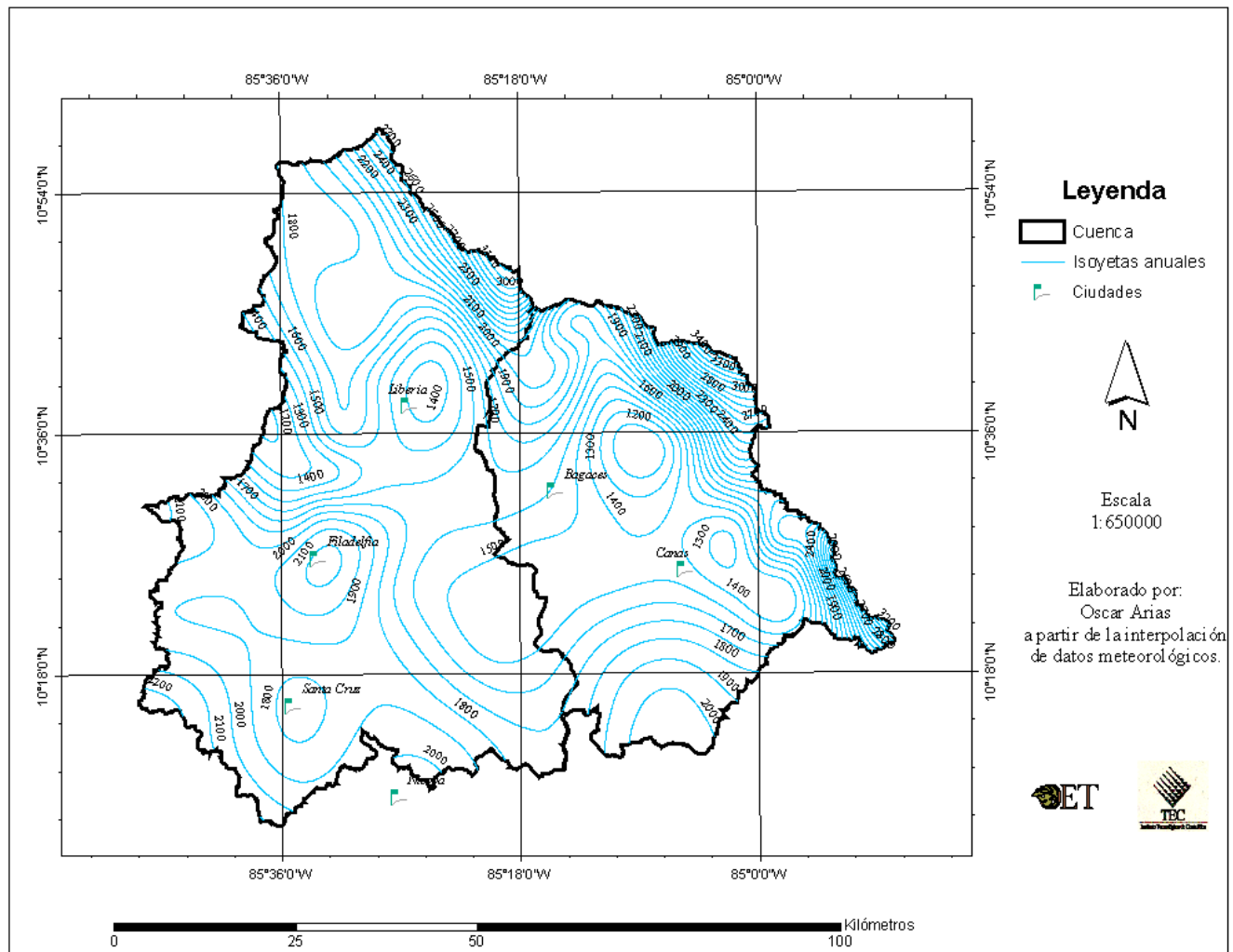
Por ser las isoyetas el método más recomendable para la estimación de lluvia media, se seleccionaron los resultados de éste para compararlos con los de los otros dos métodos que se emplearon; así mismo se realiza una comparación entre los estudios Hidrometeorológicos de la Cuenca del Río Tempisque realizados por el Centro Científico Tropical en 1998 (CCT) y el de La Organización para Estudios Tropicales en el año 2000 (OET), asumiendo que por la metodología utilizada en la elaboración del estudio actual, proporciona información más confiable.

Mapa 1. Estaciones meteorológicas utilizadas para el trazo de las Isoyetas, en las Subcuencas Tempisque y Bebedero.



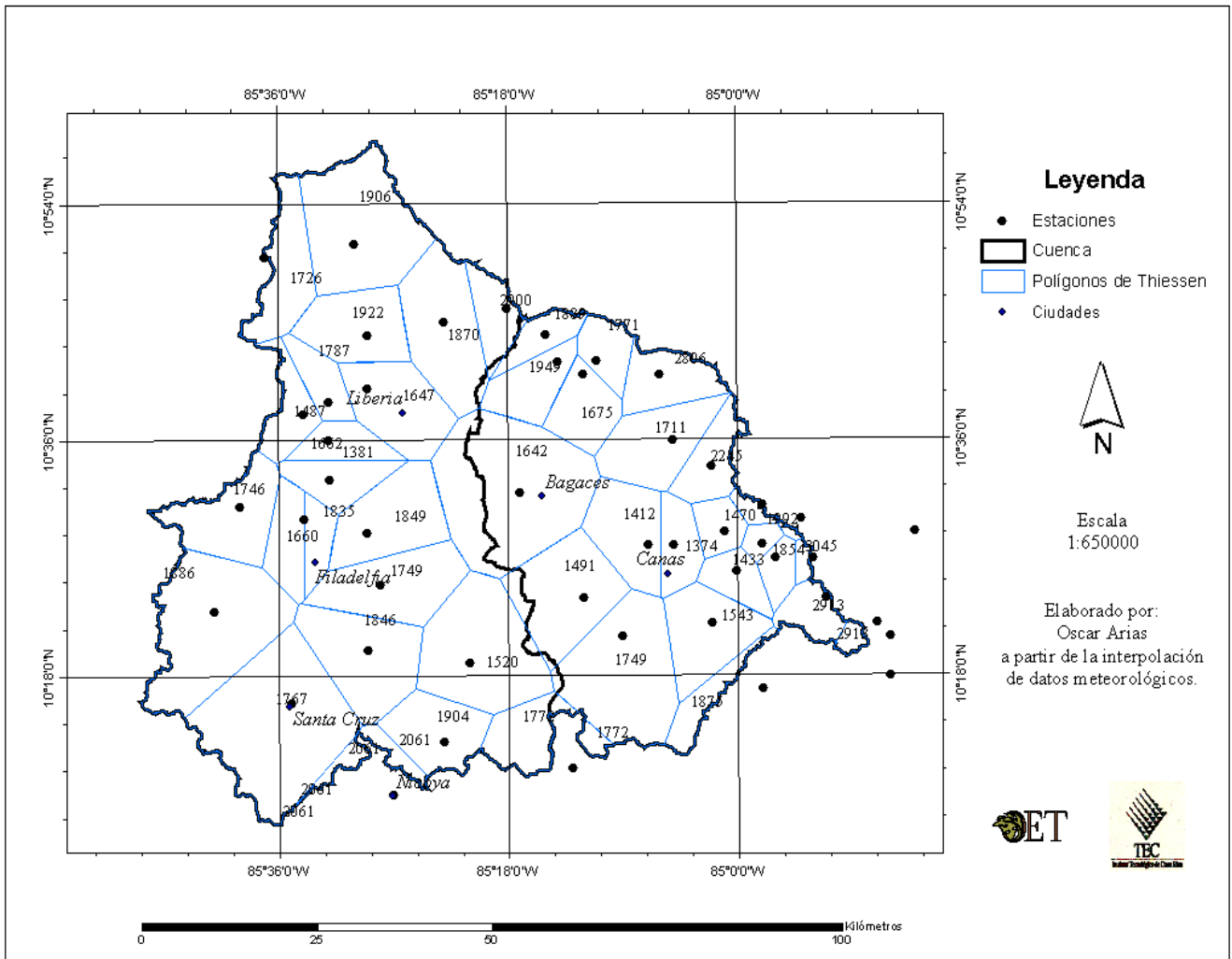
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Mapa 2. Isoyetas anuales para las Subcuencas Tempisque y Bebedero.



ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Mapa 3. Precipitación según Polígonos de Thiessen para las Subcuencas Tempisque y Bebedero.



ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

A continuación los Cuadro 6 y 7, presentan las diferencias porcentuales de lluvia media en las Subcuencas del Río Tempisque, Tempisque y Bebedero, de Isoyetas con Polígonos de Thiessen y Promedio Aritmético.

Cuadro 6. Comparación de la precipitación estimada con los métodos Isoyetas y Thiessen, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Precipitación	Isoyetas (mm)		Thiessen (mm)		Porcentaje de Diferencia	
	Subcuenca		Subcuenca		Subcuenca	
	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero
Anual	1770	1819	1792	1790	1	2
Enero	22	12	24	8	10	35
Febrero	17	6	19	5	15	19
Marzo	10	5	12	4	16	14
Abril	44	42	44	40	1	4
Mayo	204	219	199	220	3	0
Junio	233	264	233	260	0	2
Julio	170	157	177	157	4	0
Agosto	223	233	225	231	1	1
Setiembre	350	374	342	374	2	0
Octubre	326	346	327	337	0	2
Noviembre	124	128	130	124	5	4
Diciembre	56	36	60	31	6	14
Total Cuenca Tempisque	1801		1791		1	

Fuente: Cuadros 3 y 4.

Excel

Al analizar la información para la precipitación anual de toda la cuenca, se tiene que la diferencia entre ambos métodos es mínima, con 10 mm (1%). Así mismo las diferencias entre meses es poca; los meses con mayor porcentaje de diferencia son enero, febrero y marzo, sin embargo las diferencias en milímetros de precipitación entre estos meses es de 1.31 mm/año promedio para ambas subcuencas. Además se destaca que los meses de marzo y setiembre representan el mes más seco y el más lluvioso respectivamente, seguido de febrero y octubre.

Se puede deducir que las diferencias de precipitación media en estos métodos son mínimas, coincidiendo prácticamente en toda la información, por lo que las investigaciones que se realicen con ambos métodos serán similares.

Cuadro 7. Comparación de la precipitación estimada con los métodos, Isoyetas y P. Aritmético, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Precipitación	Isoyetas (mm)		P. Aritmético (mm)		Porcentaje de Diferencia	
	Subcuenca		Subcuenca		Subcuenca	
	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero
Anual	1770	1819	1765	1805	0	1
Enero	22	12	28	13	25	6
Febrero	17	6	17	5	4	21
Marzo	10	5	11	5	10	4
Abril	44	42	39	39	12	8
Mayo	204	219	189	226	8	3
Junio	233	264	223	264	4	0
Julio	170	157	182	157	7	0
Agosto	223	233	226	237	1	2
Setiembre	350	374	330	370	6	1
Octubre	326	346	319	335	2	3
Noviembre	124	128	132	121	6	5
Diciembre	56	36	69	34	23	6
Total Cuenca Tempisque	1801		1789		0.59	

Fuente: Cuadro 3 y 5.

Excel

La comparación del método de isoyetas y promedio aritmético, revela que las mayores diferencias en precipitación se dan en el mes de enero y diciembre en el caso de la Subcuenca Tempisque con 25 y 23% respectivamente; esta diferencia es de 6 mm para enero y de 13 mm para diciembre. En la Subcuenca Bebedero, febrero es el mes que tiene la mayor diferencia con 21% equivalente a 1 mm de lluvia.

Los promedios anuales y mensuales en ambos métodos son similares dado la extensión de la cuenca y el número de estaciones tomadas en cuenta, pero los resultados serán muy diferentes si se seleccionan áreas más pequeñas, en donde obviamente el método de isoyetas brindará estimaciones más confiables.

En el Cuadro 8 se presenta una comparación de la estimación de lluvia media en la Cuenca del Río Tempisque, del presente estudio y el realizado por la OET en el año 2000.

Cuadro 8. Comparación de estudio actual con el realizado por la Organización para Estudios Tropicales, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Precipitación	Estudio Actual		Estudio OET		Porcentaje de Diferencia	
	Subcuenca (49)		Subcuenca (39)			
	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero
Anual	1770	1819	1794	1719	1	6
Enero	22	12	8	19	61	52
Febrero	17	6	4	12	74	112
Marzo	10	5	7	10	34	98
Abril	44	42	33	36	25	14
Mayo	204	219	235	210	15	4
Junio	233	264	282	255	21	3
Julio	170	157	167	161	2	3
Agosto	223	233	232	215	4	8
Setiembre	350	374	363	330	4	12
Octubre	326	346	345	316	6	9
Noviembre	124	128	111	120	11	7
Diciembre	56	36	26	42	54	17
Total Cuenca Tempisque	1801		1766		2	

() Número de estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.

Excel

Fuente: Cuadro 3 y anexo 19.

Al comparar los resultados de estos estudios, asumiendo que los resultados del presente estudio son más confiables debido a la inclusión de un mayor número de estaciones, se encontró que las mayores diferencias se dan en los meses más secos, diciembre, enero, febrero y marzo, con diferencias promedios para ambas subcuencas de 63%, resaltando el caso de febrero, cuyo dato de precipitación de este estudio sobrepasa en un 112% al realizado por la OET; se trata de 6 mm de diferencia para un mes tan seco. Esto se debe a que este estudio incluyó más estaciones para la estimación de la lluvia media, sobre todo en la Cordillera de Guanacaste, donde en la estación seca existen aún lluvias originadas en el Atlántico.

Parte de la diferencia que se da en estos meses secos se debe a la variabilidad de lluvia media dentro de la cuenca; una manera de disminuir los efectos de esta gran variación puede ser estratificando la cuenca por zonas según los promedios de precipitación (de 0 -1000 mm, 1000 - 2000 mm, 2000 - 3000 mm), de manera que se obtendrán una serie de promedios de lluvia media más exactos de la zona que represente.

A nivel del promedio general para toda la cuenca se tiene una diferencia de 35 mm entre ambos estudios, esta diferencia se considera poco significativa ya que representa un 2% del total anual para un período de 23 años.

En el Cuadro 9 se presenta una comparación de la estimación de lluvia media en la Cuenca del Río Tempisque, del presente estudio y el realizado por el CCT en 1998.

Cuadro 9. Comparación de estudio actual con el realizado por el Centro Científico Tropical, para las subcuencas Tempisque y Bebedero.

Precipitación	Estudio Actual (49) Subcuenca		Estudio CCT (16) Subcuenca		Porcentaje de Diferencia Subcuenca	
	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero	Tempisque	Bebedero
Anual	1770	1819	1746	1630	1	10
Enero	22	12	6	8	72	36
Febrero	17	6	3	6	80	6
Marzo	10	5	7	9	34	67
Abril	44	42	33	34	25	18
Mayo	204	219	231	209	13	5
Junio	233	264	272	245	17	7
Julio	170	157	164	150	3	4
Agosto	223	233	230	204	3	13
Setiembre	350	374	345	319	1	14
Octubre	326	346	326	310	0	10
Noviembre	124	128	107	106	14	17
Diciembre	56	36	22	30	60	18
Total Cuenca Tempisque	1801		1688		6	

() Número de estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.

Excel

Fuente: Cuadro 3 y anexo 20.

Al igual que el estudio de la OET, las mayores diferencias con el estudio del CCT se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, con una diferencia para ambas subcuencas de 10 mm en el período (46% del total del período), que resulta muy significativo. Esto se debe probablemente a la inclusión de estaciones de la Cuenca del Río San Juan. Los promedios anuales para toda la cuenca presentan una diferencia de 113 mm, registrándose más precipitación en este estudio. Esta diferencia es muy significativa ya que representa un 6% del total anual.

En los tres estudios presentados coinciden marzo como el mes más seco y setiembre como el más lluvioso, para toda la Cuenca del Río Tempisque y para sus dos subcuencas.

Según los promedios el estudio realizado por la OET es de más confiabilidad que el realizado por el CCT, ya que presenta una menor diferencia en los valores de precipitación con el estudio actual e incluyó un mayor número de estaciones. La semejanza de los valores entre estos estudios se debe a que si bien no siguió la misma metodología, la OET utilizó 39 estaciones meteorológicas, mientras que el CCT tan solo 15 estaciones, número muy bajo en comparación con las 49 utilizadas por el presente estudio.

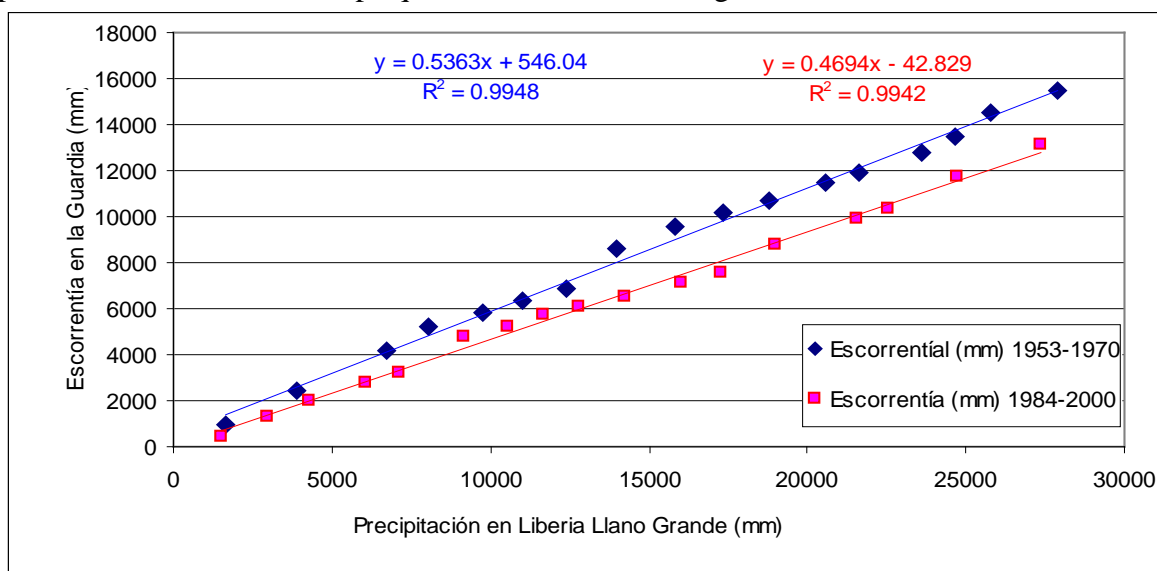
La diferencia de estos estudios radica, en el número de estaciones utilizadas, los períodos de registro, el relleno de meses faltantes y las pruebas de consistencia a los valores de

precipitación. La precipitación en la cuenca es muy diferente según el período que se utilice, es decir si se manejan estaciones con años en que la precipitación fue mayor o menor, al estar afectada por un fenómeno en particular (el Niño y la Niña) y otras en las que no se cuentan con estos años afectados por el fenómeno, la diferencia en lluvia será muy grande, afectando la confiabilidad del estudio.

En los estudios de la OET y el CCT no se realizó Análisis de Doble Masa, relleno de datos faltantes y homogeneización de promedios por períodos.

Análisis de Tendencia de Cambio del Caudal

La siguiente Figura muestra el análisis de la escorrentía acumulada, en dos períodos diferentes para la Cuenca del Río Tempisque, en la estación fluviográfica La Guardia.

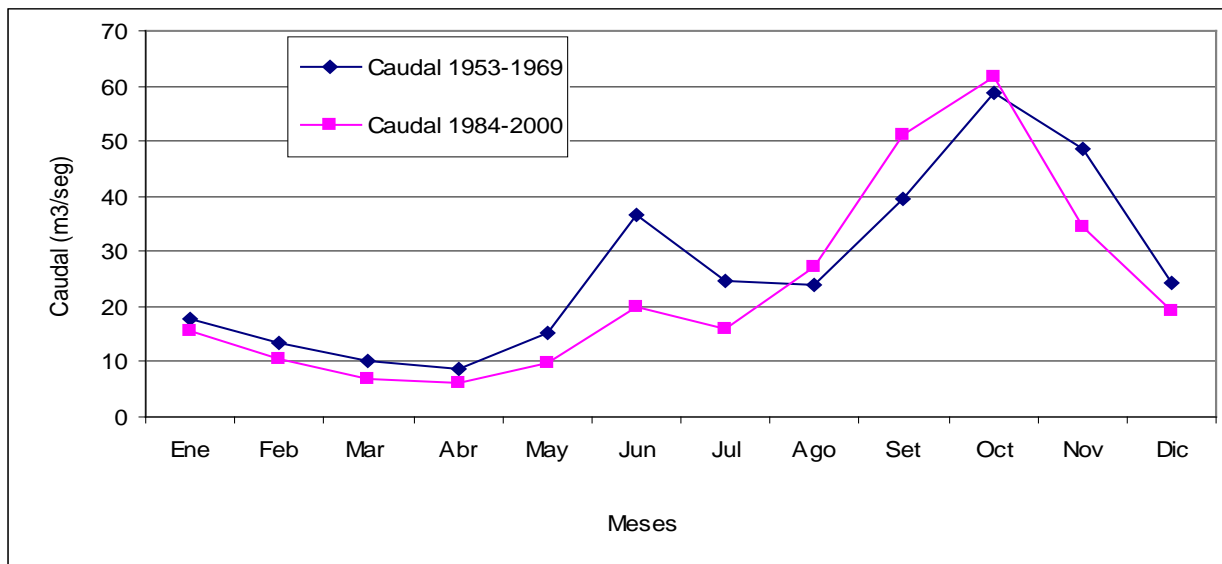


Excel

Figura 1. Escorrentía registrada por la estación La Guardia, para dos períodos diferentes.

Las pendientes de estas dos curvas indican la relación de escorrentía anual acumulada contra precipitación anual acumulada de la estación Liberia Llano Grande. En este caso se muestra un cambio en la pendiente de los dos períodos, observándose en el período 1984-2000 una relación menor con la precipitación, lo cual indica que para estos años existe más aprovechamiento del recurso hídrico en este río. Este diferencia de pendientes resultó significativa estadísticamente al realizar una prueba T, al 95 % de probabilidad (T calculado: 10.67; T tabla: 2.12).

Para apreciar mejor las diferencias en los caudales se realizó una comparación del caudal por mes promedio para los períodos estudiados, el cual se presenta en la Figura 2.



Excel

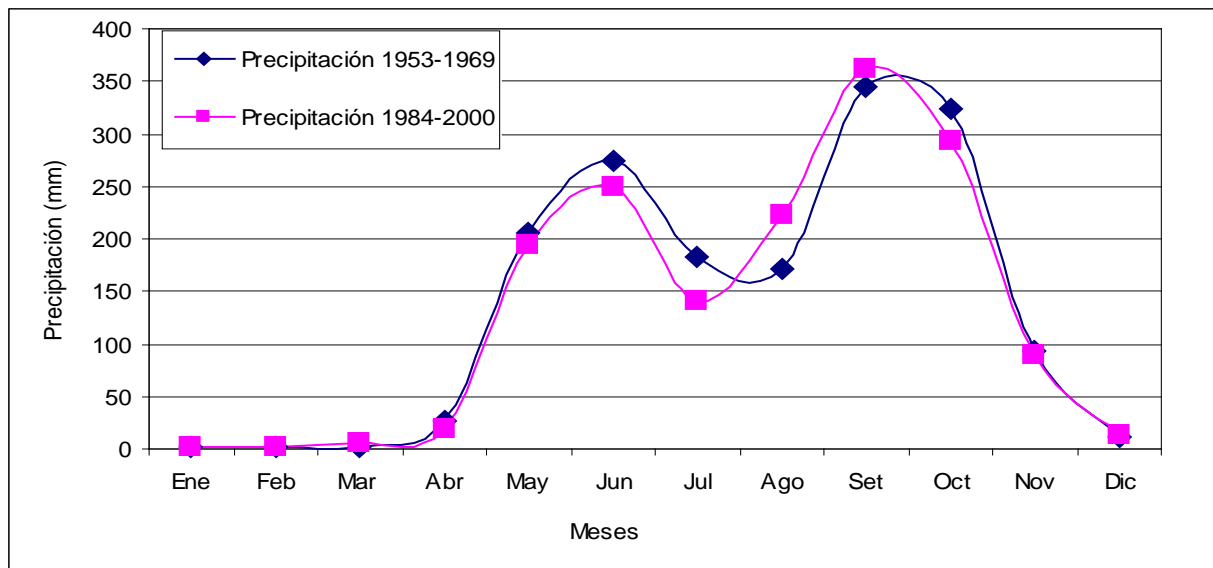
Figura 2. Caudales promedio por mes en la estación La Guardia, en dos diferentes períodos.

Para los años de 1984 a 2000 se presenta una disminución de caudal, la cual se aprecia al comparar el promedio de los dos períodos, para 1953-1969 se tiene $26.82 \text{ m}^3/\text{seg}$ y en los años 1983-2000, $23.23 \text{ m}^3/\text{seg}$. Esto equivale a 13.38% ($3.59 \text{ m}^3/\text{seg}$) de disminución en un período de 17 años.

Los meses de mayores diferencias son mayo, junio y julio, los cuales presentan mayores registro de caudal en el período de 1984-2000, sin embargo este aumento del caudal está relacionada con el aumento de la precipitación para esos meses en el mismo período, según la Figura 3.

Es importante resaltar que lo ideal sería contar información de varias estaciones fluviográficas con el fin de tener caudales en diferentes puntos de la cuenca, sin embargo en vista de que no se ubican estaciones en la parte baja, sólo se utilizó La Guardia para el análisis.

A continuación la Figura 3 presenta una comparación de la precipitación de dos períodos diferentes, en la estación meteorológica Liberia Llano Grande.



Excel

Figura 3. Precipitación promedio de Liberia Llano Grande por mes, en dos períodos diferentes.

La precipitación en los meses de mayo, junio y julio del período 1984-2000 disminuye considerablemente en relación con la precipitación de los años de 1953-1969. Estas diferencias en precipitación pueden representar una cantidad considerable de volumen. Para mayo, junio y julio la precipitación disminuyó en 12.4, 26.37 y 41.39 mm respectivamente. Lo que puede afectar en una disminución en volumen de 4.42 (mayo), 9.40 (junio) y 14.76 (julio) m^3/seg . La disminución en precipitación para estos tres meses en promedio equivaldría 9.53 m^3/seg de agua disponible para escorrentía para el periodo (1984-2000) dato que se relaciona con la disminución en caudal promedio (10.30 m^3/seg) para los mismos meses pero en el período de 1953-1969, por lo que se puede deducir que la precipitación es proporcional al caudal.

Los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, para el período de 1984-2000, disminuyen el caudal considerablemente manteniéndose la misma precipitación en estos meses para ambos períodos estudiados. Se puede deducir que la disminución del caudal se debe al aprovechamiento del recurso, esta hipótesis se deriva al observar que los meses de mayor disminución corresponden a los períodos de época seca.

En promedio para estos cinco meses de mayor disminución del caudal, en el período de 1953-1969 se contaba con 14.90 m^3/seg , mientras para 1984-2000, 11.33 m^3/seg ; para una diferencia de 3.17 m^3/seg (21.28%). Este dato es preocupante, si se toma en cuenta que el río Tempisque en algunos meses de época seca ha presentado caudales similares a este dato.

Si cada 17 años se mantuviera constante una disminución del caudal del río en promedio para la época seca de 21.28% en el 2050 el caudal del río Tempisque en esa época sería aproximadamente de 5.53 m³/seg.

Esta claro que se presenta una disminución del caudal y que está relacionada con el aprovechamiento del recurso, pero se debe resaltar que la estación fluviográfica la Guardia se ubica en la parte alta de la cuenca, donde no existen grandes proyectos de riego y sobre uso del recurso, en comparación con la parte baja donde se utiliza en más cantidad el caudal de los ríos; por lo que se podría esperar mayores diferencias.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio permitió conformar una base de datos normalizada de precipitación anual y mensual, a la cual se le efectuó análisis de consistencia, relleno de meses sin registro y estimación de períodos faltantes, logrando una mejor estimación de lluvia media mensual y anual para la cuenca.

Al comparar las estimaciones entre los métodos de Isoyetas, Polígonos de Thiessen y Promedio Aritmético se encontraron pequeñas diferencias, debido a que se están comparando promedios de una cuenca de gran extensión aunado al gran número de estaciones utilizadas. Sin embargo si se comparan las estimaciones generadas por estos métodos a un área específica, las diferencias podrían ser mayores.

De la comparación de este estudio con los resultados del CCT (1998) y la OET (2000) se concluye que las estimaciones de este estudio son más confiables, debido a que el análisis empleó una base normalizada de datos de precipitación y se utilizó un mayor número de estaciones meteorológicas. Además se utilizó estaciones como puntos de control y fuera de la cuenca, para mejorar la interpolación en la elaboración de los mapas. Las mayores diferencias de estimación de lluvia media de estos estudios con el estudio actual se presentan en los meses de diciembre enero, febrero, y marzo producto de la utilización de estaciones meteorológicas ubicadas en la cordillera de Guanacaste donde en época seca tienen influencia de las lluvias del Atlántico.

En los mapas, la parte este de la Cuenca del Río Tempisque presenta información más completa a causa de una mayor densidad de estaciones meteorológicas.

En el análisis de tendencia de cambio del caudal, al comparar los períodos de 1953-1969 y 1984-2000 de la estación La Guardia contra la lluvia de la estación Liberia Llano Grande se encontró que el caudal del Río Tempisque en la parte media de la cuenca presenta una disminución. Esta diferencia se concentra en los meses secos y se debe probablemente a la explotación del recurso hídrico.

Al comparar los datos de lluvia para estos dos períodos (1953-1969 y 1984-2000) se encontró que las diferencias para los meses secos son mínimas. Todo lo contrario sucede para los meses

de mayo, junio y julio donde la disminución de la precipitación para el segundo período repercute directamente en la merma del caudal para esos mismos meses.

Se sabe que en la parte baja de la cuenca la explotación del agua del río es mucho mayor, debido al establecimiento de grandes proyectos de riego, por lo que se espera un impacto más fuerte en el caudal del río para esta zona.

En la Cuenca del Río Tempisque se han detectado algunas áreas con baja densidad de estaciones y en definitiva no existen estaciones de caudal para la parte baja de la cuenca que permitan valorar el recurso y su relación con el uso del agua.

Este estudio no logró cumplir con todos los objetivos en el análisis del caudal mínimo y tendencias de cambio del caudal dado que el tiempo no permitió realizar aplicaciones del balance hídrico mensual, además de no contar con suficiente información de escorrentía para toda la cuenca que sea disponible y confiable. Las estaciones fluviográficas de la subcuenca Bebedero están influidas por las descargas del embalse arenal, lo cual reduce la posibilidad de evaluar el impacto del riego en los caudales del Río Tempisque.

Es necesario continuar con este estudio al menos tratando de completar un análisis más detallado de las relaciones de lluvia y escorrentía en la estación La Guardia, aplicando sobre todo estimaciones de balance hídrico mensual y anual.

Es importante que las instituciones que manejan estaciones meteorológicas, cooperen con la disponibilidad de información para este tipo de estudios, el ICE y SENARA se mostraron anuentes a colaborar no así el IMN el cual del todo no colaboró con información.

BIBLIOGRAFIA

- CALVO, J. 1996. Principios de Hidrología Forestal Tropical. Manual del Curso. ITCR. Escuela de Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica. 136 p.
- CALVO, J. 2000. Taller el Agua en el Río Tempisque: Calidad Flujos y Conservación. CCT - OET. 36 p.
- FALLAS, J. 1998. Sistemas Integrados e Información Geográfica. TELESIG. UNA. 79 p.
- IICA - SENARA. 1991. Evaluación del Proyecto de Riego Arenal - Tempisque I Etapa. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento y Oficina del IICA en Costa Rica. 80 p.
- ICE. 1994. Boletín Hidrológico N° 21. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 189 p.
- ICE. 1993. Boletín Hidrológico N° 20. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 228 p.
- ICE. 1991. Boletín Hidrológico N° 19. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 192 p.
- ICE. 1990. Boletín Hidrológico N° 18. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 195 p.
- ICE. 1988. Boletín Hidrológico N° 17. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 240 p.
- ICE. 1986. Boletín Hidrológico N° 16. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 260 p.
- ICE. 1984. Boletín Hidrológico N° 15. Dirección de Planificación Eléctrica. Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 252 p.

- ICE. 1981. Boletín Hidrológico N° 14. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 293.p
- ICE. 1980. Boletín Hidrológico N° 13. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 164 p.
- ICE. 1979. Boletín Hidrológico N° 12. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 158 p.
- ICE. 1978. Boletín Hidrológico N° 11. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 189 p.
- ICE. 1974. Boletín Hidrológico N° 9. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 253 p.
- ICE. 1972. Boletín Hidrológico N° 8. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 170 p.
- ICE. 1971. Boletín Hidrológico N° 7. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 180 p.
- ICE. 1967. Boletín Hidrológico N° 5. Dirección de Planificación Eléctrica.
Departamento de Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica. 320 p.
- JAMES, K y CLAYTON, H. 1985. Curva de Dobles Masas. Manual de Hidrología: Parte I. Técnica de Hidrología Superficial. 35 p.
- JIMÉNEZ, J y GONZÁLEZ, E. 2001. La Cuenca del Río Tempisque. Perspectivas para un Manejo Integrado. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 135 p.
- MAG - IMN. 1984. Anuario Meteorológico. República de Costa Rica. 216 p.
- REYNOLDS, J. 1996. Utilización y Manejo Sostenible de los Recursos Hídricos. Heredia, Costa Rica: Editorial Universidad Nacional. 256 p.

Anexo 1. Estaciones utilizadas para la estimación de la lluvia media en la Cuenca del Río

Nº	Identifi- cación	Estación	Elevación msnm	Sistema de Coordenadas						Precipitación media de 1978-2000 (mm)												
				Geográficas		Lambert Norte		UTM-16		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
				Latitud	Longitud	Y	X	Y	X													
1 ^c	69545*	El Silencio	960	10°27'	84°54'	437960.36	270032.93	1155846.47	729875.83	154	106	73	81	243	341	388	371	354	395	290	249	3045
2 ^c	69552*	Tejona	640	10°31'	84°58'	430676.36	277420.11	1163173.66	722527.58	40	20	14	37	170	223	233	245	328	318	162	96	1884
3 ^c	69553*	Azul	1060	10°24'	84°53'	439775.41	264499.75	1150327.17	731738.01	157	85	60	58	251	326	336	354	380	409	272	224	2913
4 ^c	69559*	San Bosco	1400	10°22'	84°49'	447069.67	260801.20	1146688.89	739065.42	266	180	113	101	300	357	408	414	376	497	378	374	3763
5 ^c	69563*	San Gerardo	1620	10°21'	84°48'	448892.16	258955.10	1144857.51	740903.96	224	149	109	91	282	335	366	396	385	435	367	353	3492
6 ^c	69571*	SP Sangregado	500	10°29'	84°46'	452562.94	273696.44	1159634.59	744451.70	215	167	109	103	265	385	463	440	353	385	318	347	3550
7 ^c	69585*	Nueva Trovadora	580	10°30'	84°55'	436145.86	275566.23	1161365.77	728014.04	65	35	23	37	174	259	281	289	300	305	186	125	2079
8 ^c	74006	La Guinea	40	10°25'	85°28'	375907.64	266513.51	1151803.01	667847.17	3	4	5	59	240	261	148	220	352	333	108	15	1749
9 ^c	74011	Hacienda Tempisque	22	10°30'	85°34'	364994.41	275771.14	1160967.71	656856.53	4	2	3	33	239	241	144	245	380	278	84	7	1660
10 ^c	74012	Rio Colorado	100	10°40'	85°29'	374183.62	294169.98	1179443.23	665888.46	0	2	2	35	187	246	124	220	371	332	100	29	1647
11 ^c	74014	Quebrada Honda	30	10°11'	85°13'	403208.59	240619.82	1126137.70	695364.96	7	8	8	56	251	245	181	248	299	323	127	18	1772
12 ^c	74019	Guachipelin	520	10°45'	85°23'	385154.81	303348.50	1188715.40	676780.46	6	4	5	35	270	276	130	216	392	395	116	25	1870
13 ^c	74020	Liberia Llano Grande	85	10°36'	85°32'	368685.31	286817.00	1172043.89	660453.30	1	2	8	26	223	275	151	223	364	288	88	14	1662
14 ^c	76002	Tilarán	562	10°28'	84°58'	430301.12	272259.54	1157642.46	722563.37	59	31	18	35	190	226	241	271	316	307	179	119	1992
15 ^c	76006	Tierras Morenas	695	10°34'	85°02'	423391.46	282965.52	1166858.17	715194.14	81	38	24	40	202	256	256	288	356	365	185	152	2245
16 ^c	76016	Hacienda Mojica	13	10°24'	85°12'	405100.72	264577.62	1150113.12	697056.86	1	7	5	44	190	225	130	177	298	302	99	12	1491
17 ^c	76020	Libano	250	10°26'	85°00'	427008.31	268211.02	1153931.67	718936.74	8	7	11	32	147	216	148	195	285	254	111	19	1433
18 ^c	76021	El Chopo	120	10°28'	85°05'	417893.13	271918.15	1157562.41	709788.73	6	7	8	23	164	191	129	185	276	263	102	19	1374
19 ^c	76022	La Quesera	660	10°27'	84°57'	432486.28	270043.20	1155810.49	724400.37	49	22	19	36	160	241	207	229	325	312	159	95	1854
20 ^c	76024	El Coyol	410	10°29'	85°01'	425195.50	273744.88	1159451.24	717076.81	20	9	10	20	153	203	175	183	284	247	117	50	1470
21 ^c	76029	Rio Naranjo	525	10°41'	85°06'	416126.79	295885.85	1181518.34	707817.94	107	61	35	57	241	309	339	338	411	407	263	240	2806
22 ^c	76034	La Fortuna de Bagaces	430	10°41'	85°12'	405186.83	295914.18	1181452.83	696876.69	10	2	3	39	213	198	149	226	347	327	126	35	1675
23 ^c	74003	Santa Cruz	54	10°16'	85°35'	363067.78	249972.11	1135155.06	655147.31	8	5	5	44	187	291	178	233	357	323	112	23	1767
24 ^c	74005	Puerto Humo	10	10°19'	85°21'	388646.19	255410.15	1140807.04	680678.72	10	9	6	43	216	182	111	201	355	264	103	23	1520
25 ^c	74008	Peñón de la Bajura	40	10°29'	85°25'	374109.68	273893.36	1159167.25	665986.97	7	4	2	60	251	286	132	238	388	362	105	13	1849
26 ^c	74017	Talolinga	10	10°20'	85°29'	374049.19	257303.61	1142578.00	666066.32	0	3	3	52	257	274	151	209	405	355	112	27	1846
27 ^c	74023	Hacienda Santa María	825	10°46'	85°18'	394275.13	305162.71	1190608.07	685885.09	200	39	22	45	262	315	279	351	438	436	259	255	2900
28 ^c	76005	Cañas San Luis	95	10°28'	85°07'	414243.95	271927.02	1157540.41	706138.98	3	5	6	34	193	178	146	196	268	288	80	16	1412
29 ^c	76039	Mogote	560	10°44'	85°15'	399732.93	301459.68	1186951.86	691374.88	57	20	9	37	210	224	193	229	331	309	147	123	1889
30 ^c	76041	Taboga Ingenio	10	10°22'	85°02'	423342.37	260845.68	1146534.13	715332.15	5	6	12	42	195	235	158	200	298	276	94	22	1543
31 ^c	76044	Casa Máquinas Miravalles	640	10°42'	85°11'	407015.13	297752.56	1183307.05	698689.34	26	26	5	34	192	207	185	238	307	340	136	73	1771
32 ^c	74004	Quebrada Grande	366	10°51'	85°30'	372435.21	314453.45	1199710.34	663966.01	7	2	1	43	178	276	192	268	391	340	147	62	1906
33 ^c	72101*	Nicoya	120	10°09'	85°27'	377628.14	237014.33	1122319.67	669814.50	5	12	18	92	234	267	201	276	408	398	122	29	2061
34 ^c	72106*	Santa Rosa	315	10°50'	85°37'	359671.29	312659.64	1197806.72	651219.02	4	1	3	9	215	221	153	219	374	363	142	22	1726
35 ^c	72110*	Morote	20	10°04'	85°16'	397691.70	227732.66	1113204.15	689954.48	3	2	7	63	213	224	200	193	324	337	106	31	1704
36 ^c	74007	Monte Galan	60	10°38'	85°34'	365052.12	290517.72	1175713.33	656788.88	1	0	0	7	156	237	135	215	318	286	117	16	1487
37 ^c	74010	Cañas Dulces	100	10°44'	85°29'	374210.50	301543.30	1186816.32	665852.21	0	1	0	38	234	294	159	253	405	366	133	38	1922
38 ^c	74015	Corralillo	30	10°13'	85°23'	384958.44	244362.36	1129728.49	677083.36	2	4	7	65	225	244	181	253	357	402	147	19	1904
39 ^c	74016	Hacienda el Real	130	10°33'	85°32'	368664.27	281287.02	1166514.20	660479.28	0	0	2	21	183	196	136	206	280	272	73	10	1381
40 ^c	74018	Cartagena	63	10°23'	85°41'	352168.50	262920.31	1148010.12	644140.71	2	1	6	29	221	264	160	253	383	356	166	45	1886
41 ^c	74021	Hacienda La Flor	50	10°39'	85°32'	368706.35	292346.99	1177573.60	660427.19	1	0	6	24	228	314	139	239	412	307	111	3	1787
42 ^c	74024	Sardinal	460	10°31'	85°39'	355880.20	277651.33	1162770.46	647727.45	0	0	3	17	216	259	178	204	387	333	133	18	1746
43 ^c	76008	Taboga	40	10°21'	85°09'	410561.35	259033.09	1144613.98	702564.60	1	16	8	52	208	237	154	252	321	365	112	23	1749
44 ^c	76012	Hacienda Tenorio	400	10°36'	85°05'	417928.20	286664.77	1172311.41	709698.50	7	6	12	29	155	218	156	222	414	343	105	44	1711
45 ^c	76030	Hacienda Las Loras	50	10°32'	85°17'	396020.24	279350.44	1164809.97	687850.94	1	22	1	55	212	224	154	153	396	292	121	11	1642
46 ^c	78001**	Las Juntas, Abangares	140	10°17'	84°58'	430624.58	251613.72	1137361.38	722693.04	4	6	5	39	246	340	111	235	439	314	109	27	1875
47 ^c	78002**	Monte Verde	1460	10°18'	84°48'	448883.98	253425.18	1139325.77	740942.05	77	47	31	42	263	358	243	287	407	442	195	125	2517
48 ^c	74030**	Ingenio El Viejo	22	10°30'	85°34'	364994.45	275771.14	1160967.71	656856.57	1	0	5	38	295	297	128	245	369	349	93	14	1835
49 ^c	76011**	Hacienda Guayabo	550	10°42'	85°14'	401545.44	297767.74	1183275.28	693219.18	25	11	6	52	189	203	163	259	385	423	109	127	1949

* Estaciones ubicadas fuera de la Cuenca del Río Tempisque, utilizadas para mejorar la interpolación.

** Estaciones utilizadas como puntos de apoyo para mejorar la interpolación de los datos de precipitación.

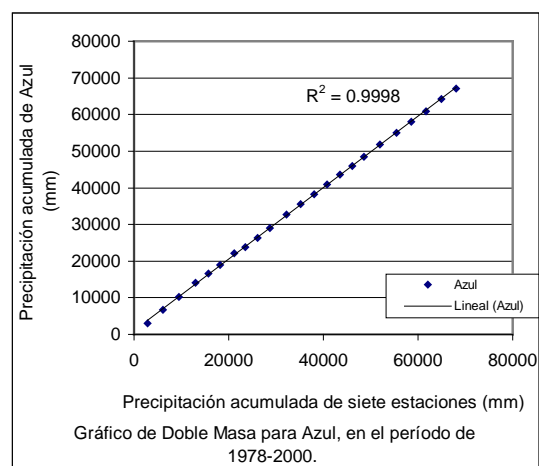
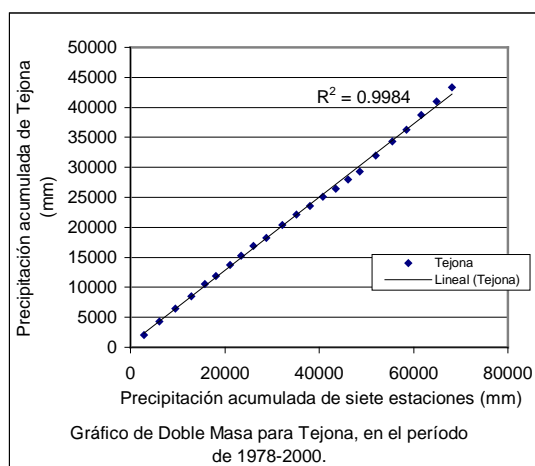
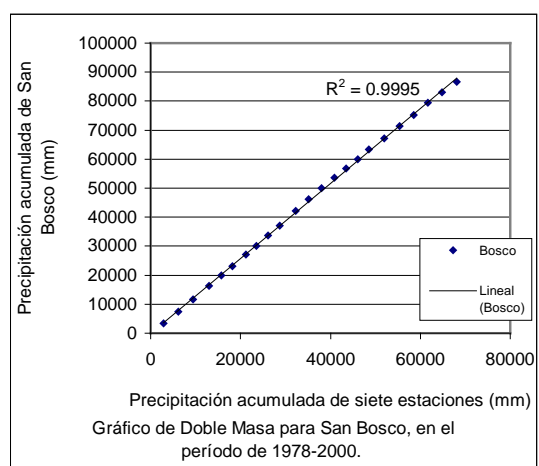
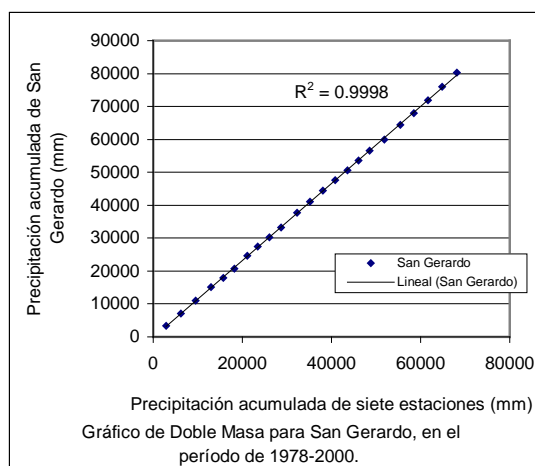
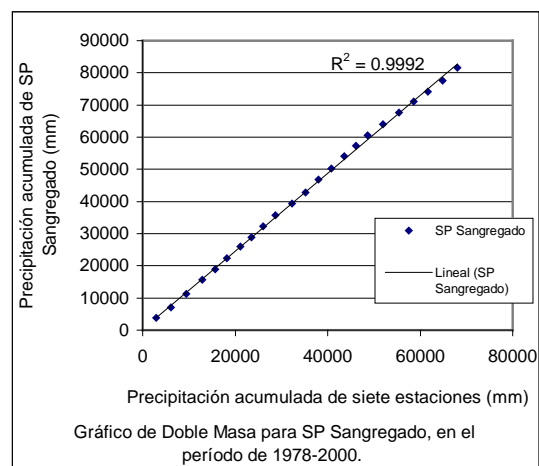
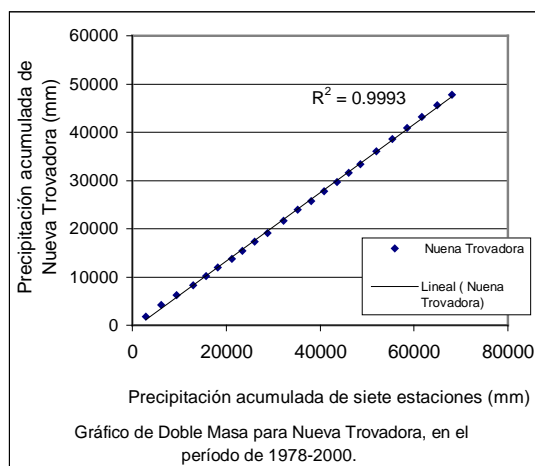
^c Estaciones con período completo.

ⁱ Estaciones con período incompleto.

Tempisque en un período de 23 años de 1978 al 2000.

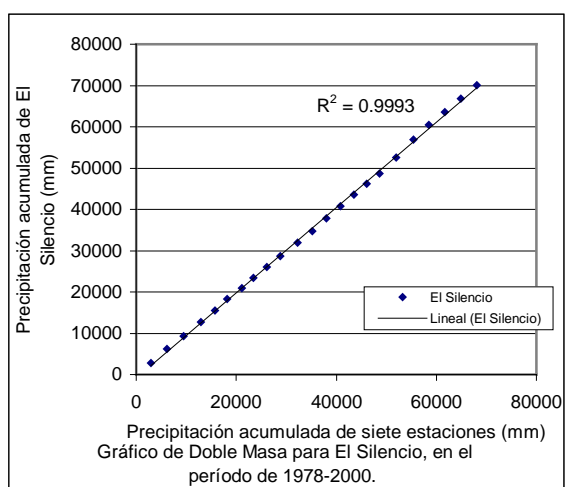
Excel

Anexo 2. Análisis de Doble Masa realizado a estaciones con período 1978-2000 completo de la Cuenca del Río San Juan.

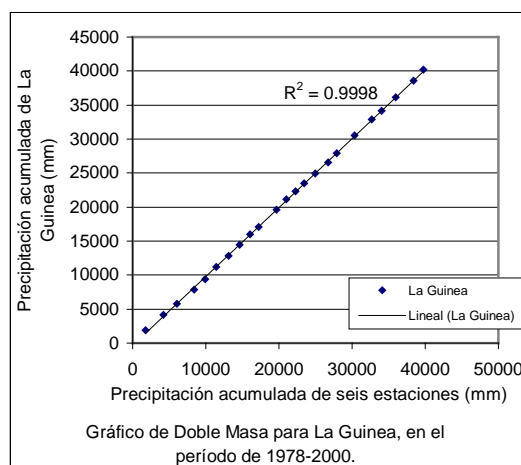
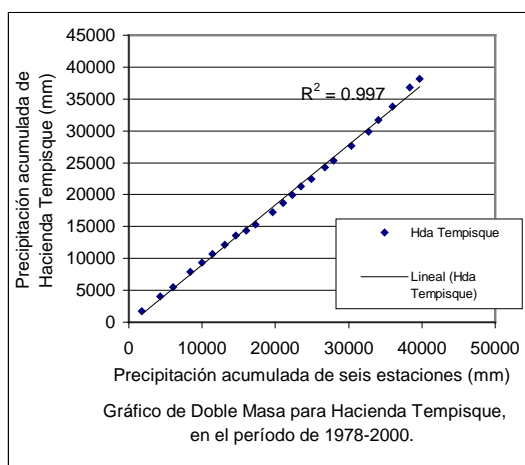
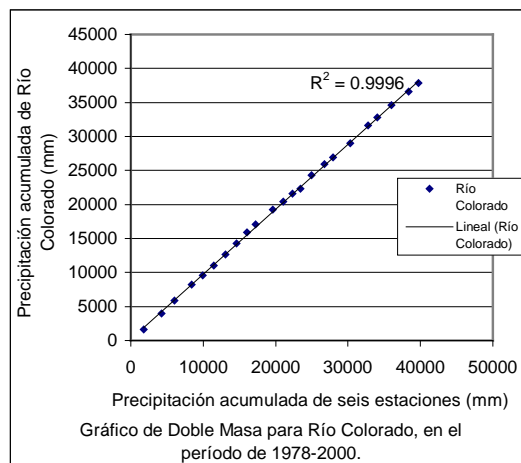
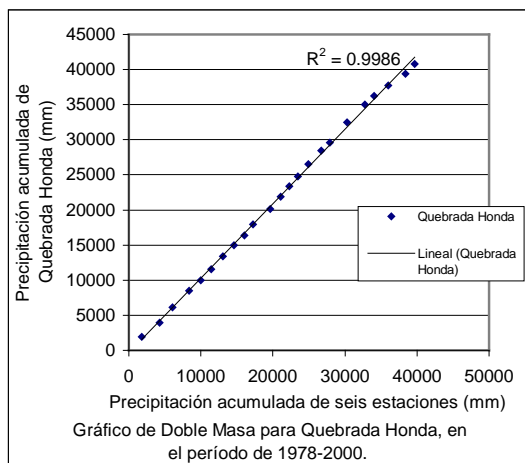
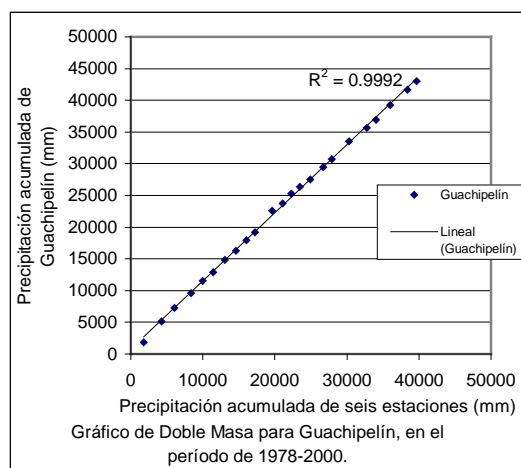
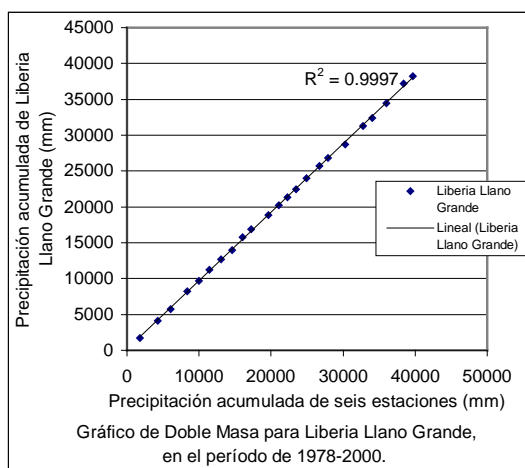


Continúa

Excel

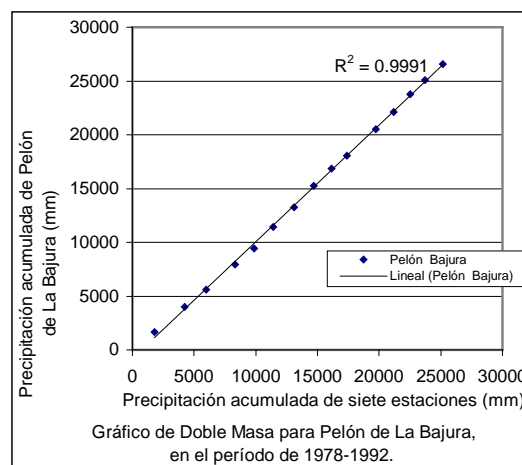
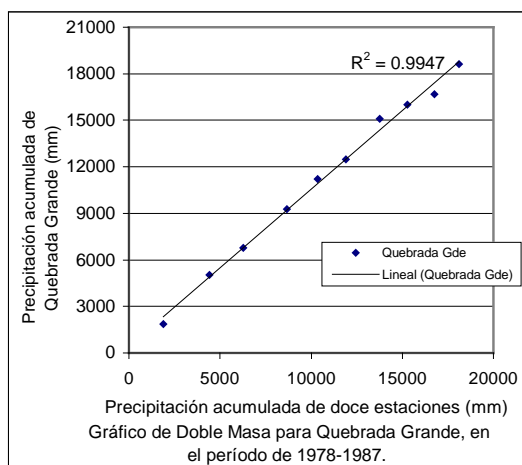
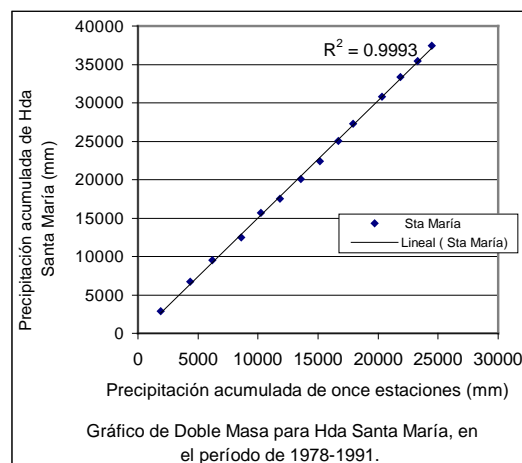
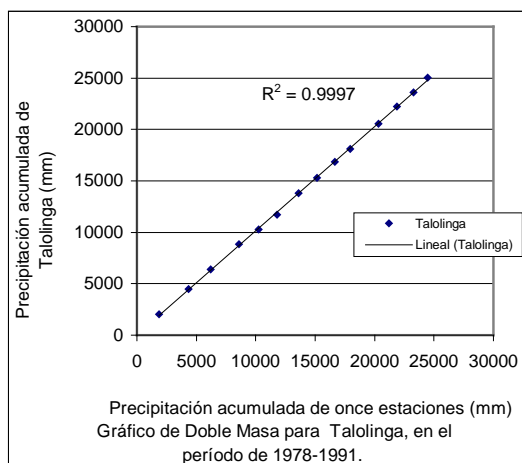
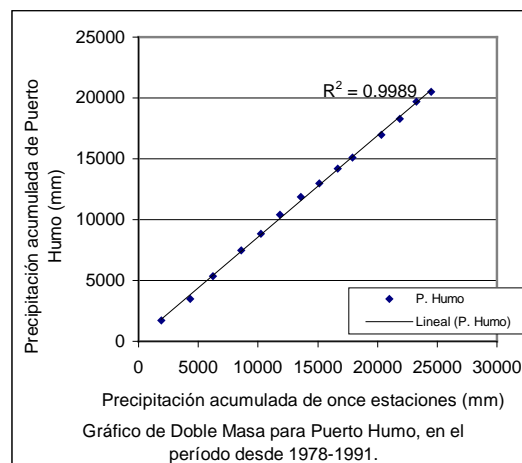
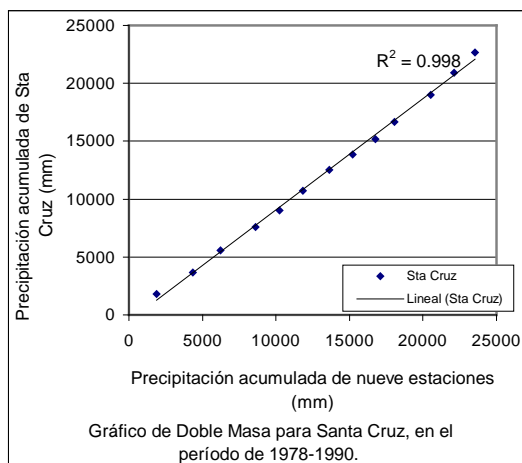


Anexo 3. Análisis de Doble Masa realizado a estaciones con período 1978-2000 completo de la Subcuenca del Río Tempisque.

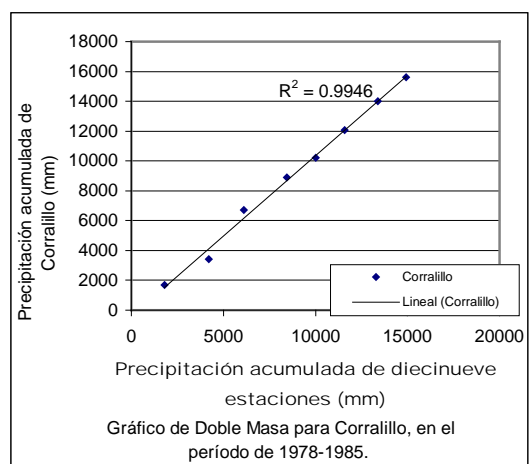
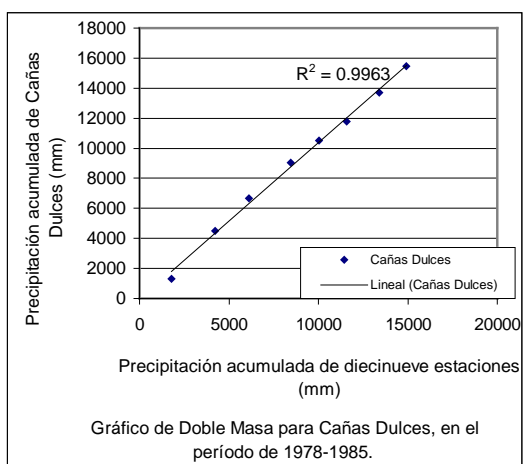
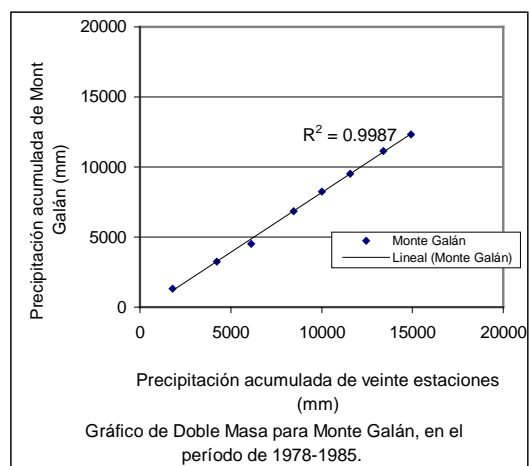
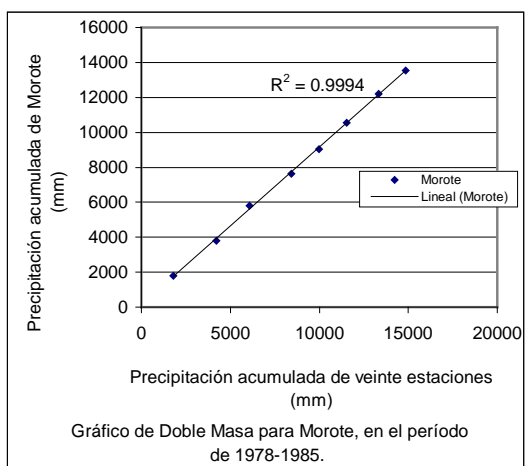
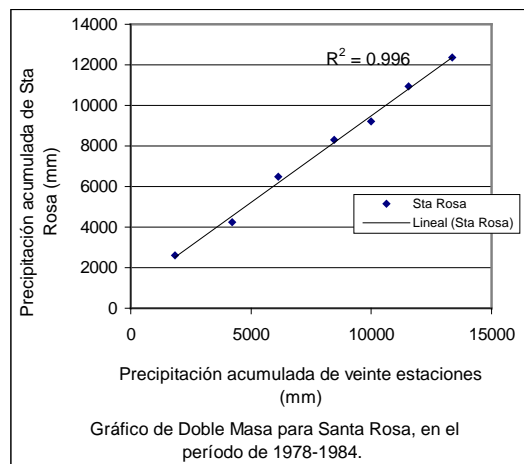
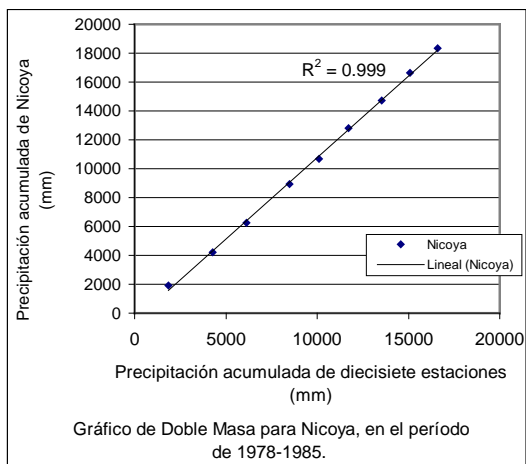


Excel

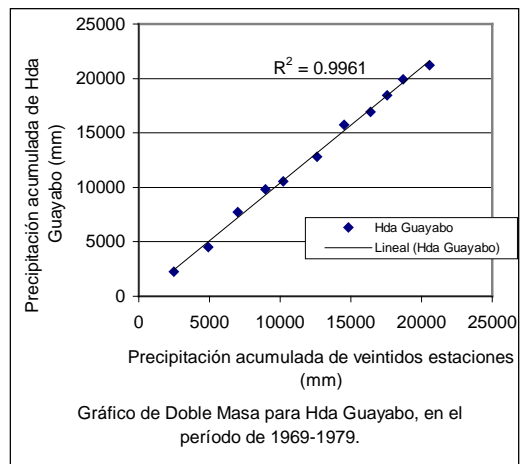
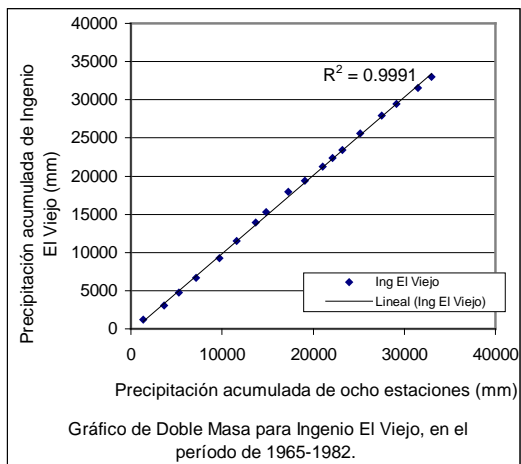
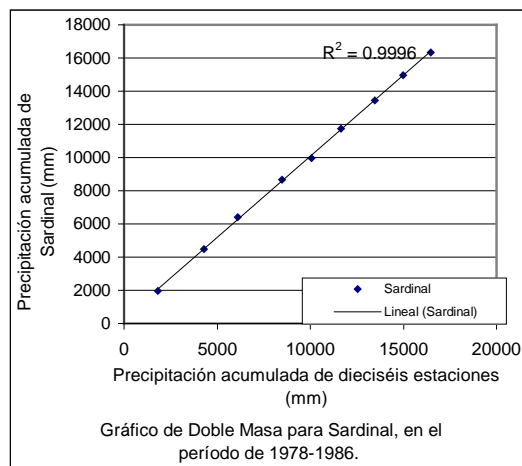
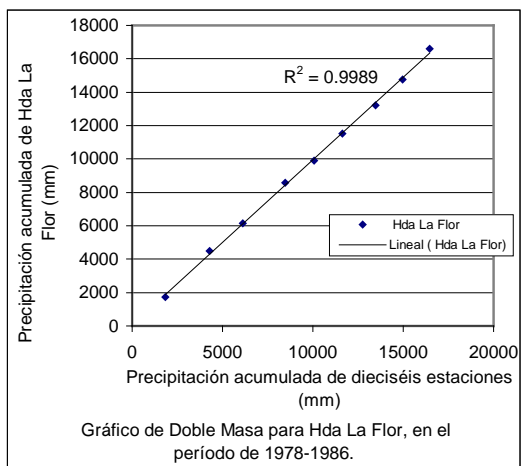
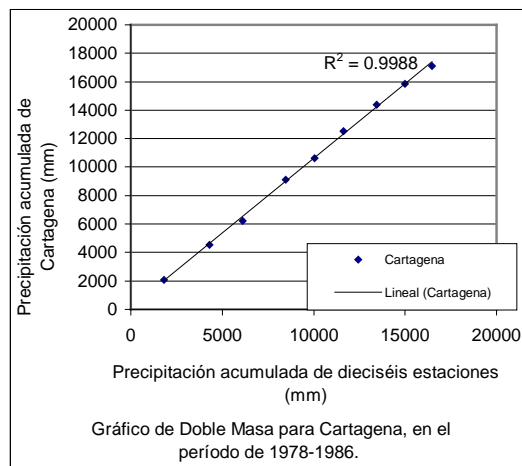
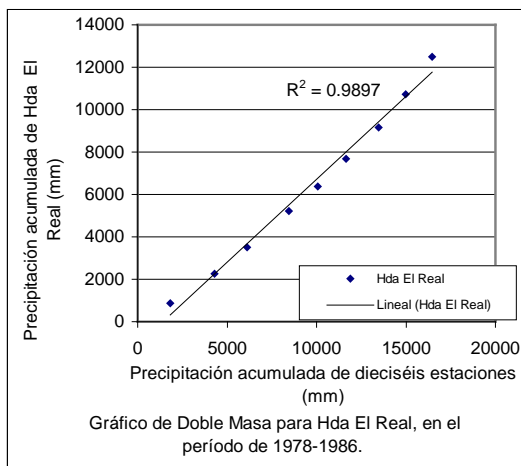
Anexo 4. Análisis de Doble Masa realizado a estaciones con período 1978-2000 incompleto de la Subcuenca del Río Tempisque.



Continúa

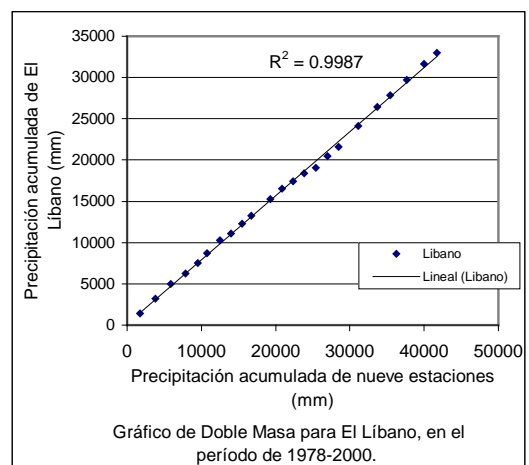
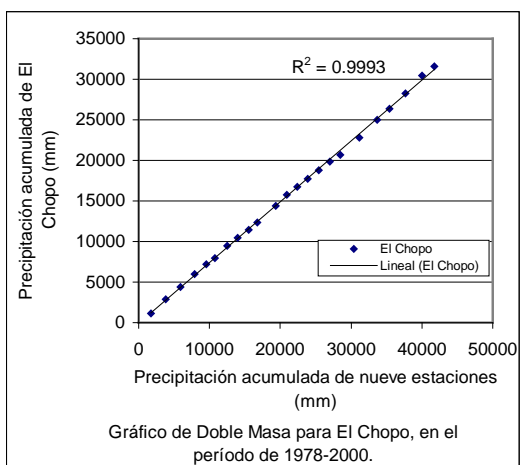
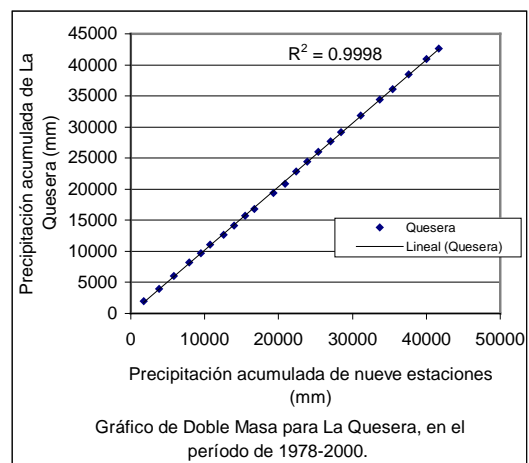
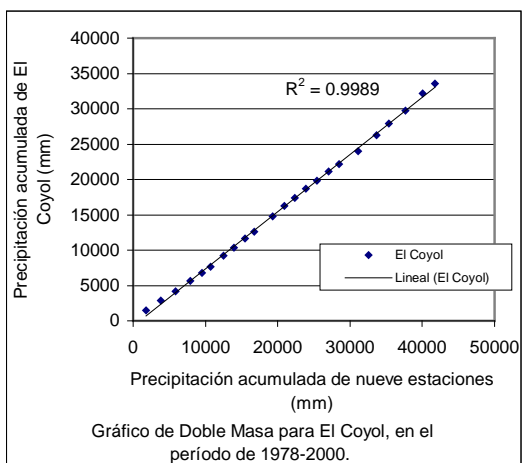
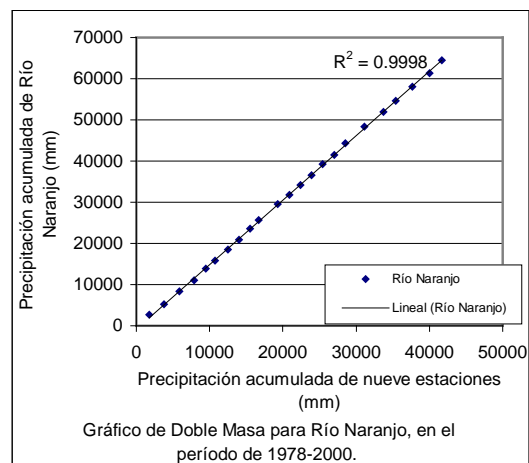
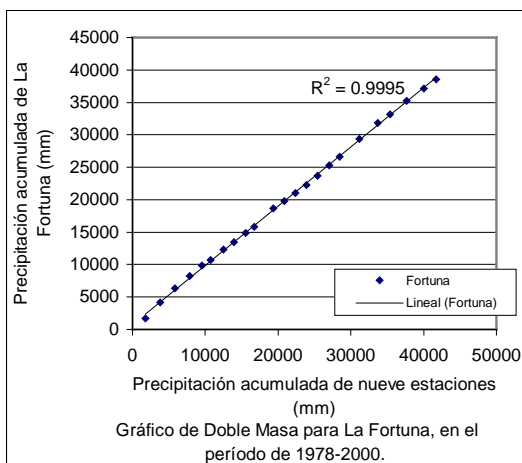


Continúa

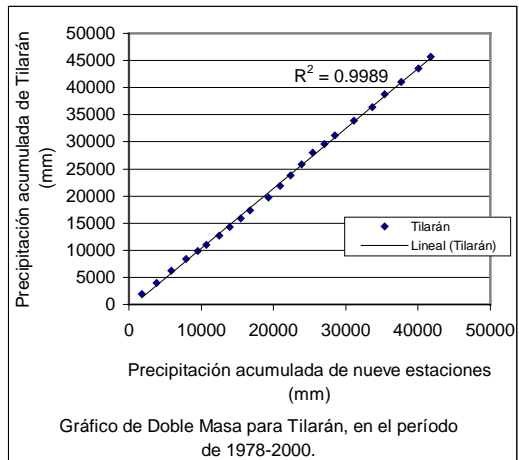
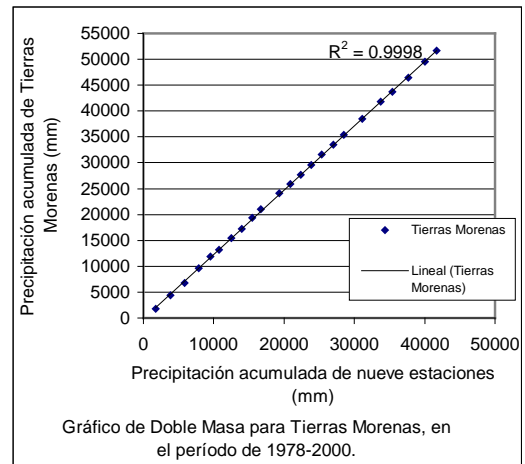
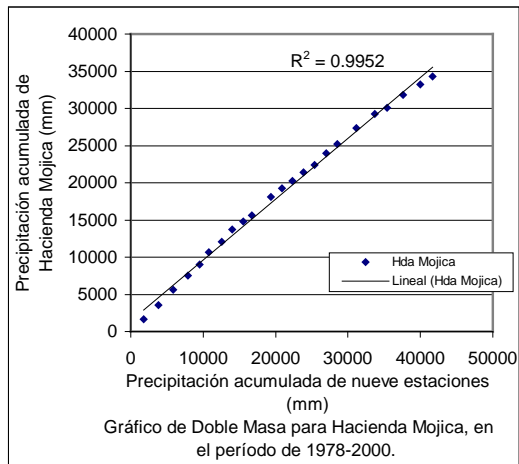


Excel

Anexo 5. Análisis de Doble Masa realizado a las estaciones con período entre 1978 -2000 completo de la Subcuenca del Río Bebedero.

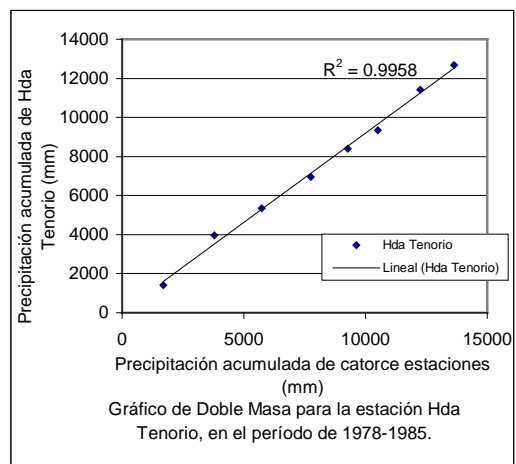
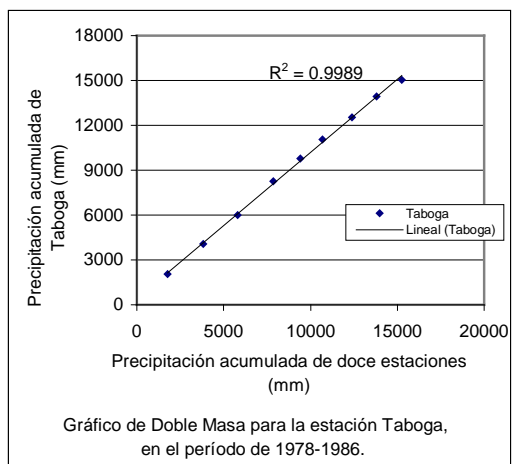
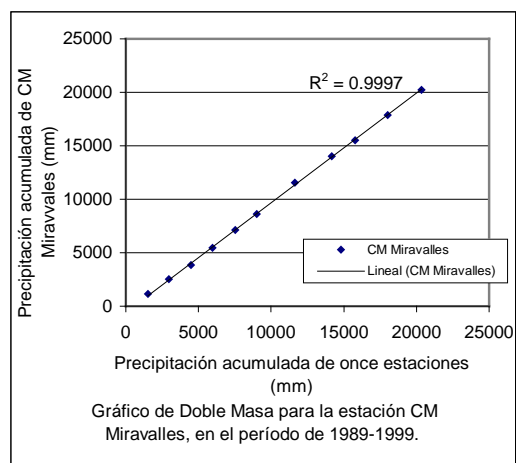
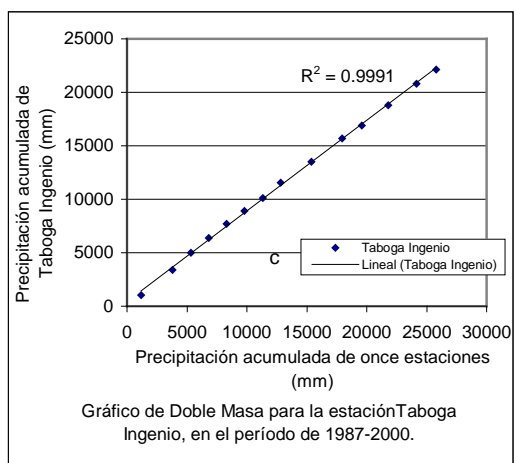
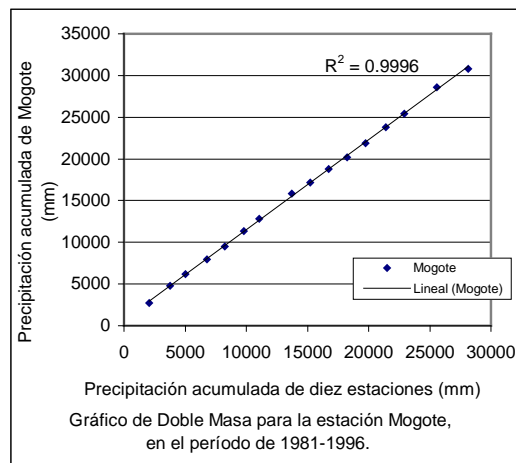
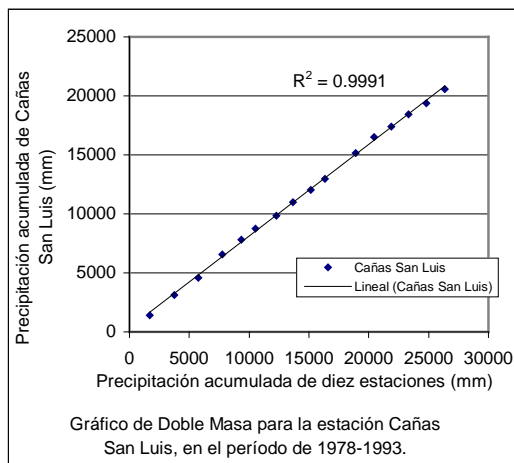


Continúa

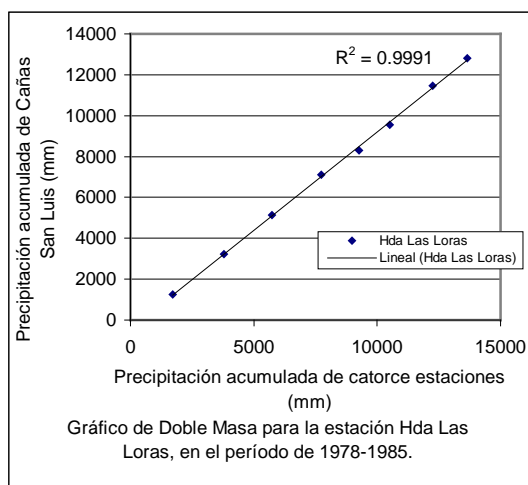


Excel

Anexo 6. Análisis de Doble Masa realizado a las estaciones con período de 1978-2000 incompleto de la Subcuenca del Río Bebedero.

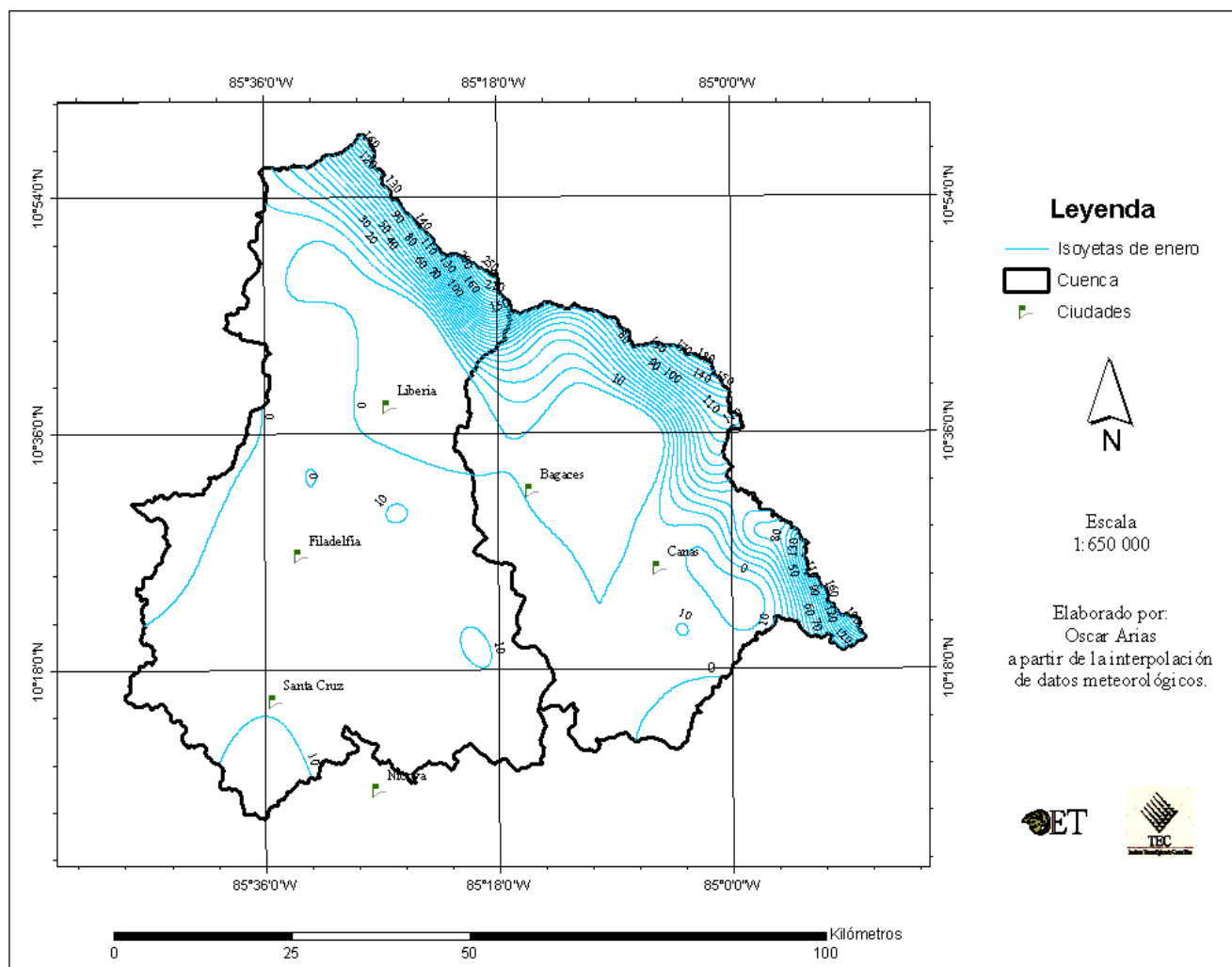


Continúa



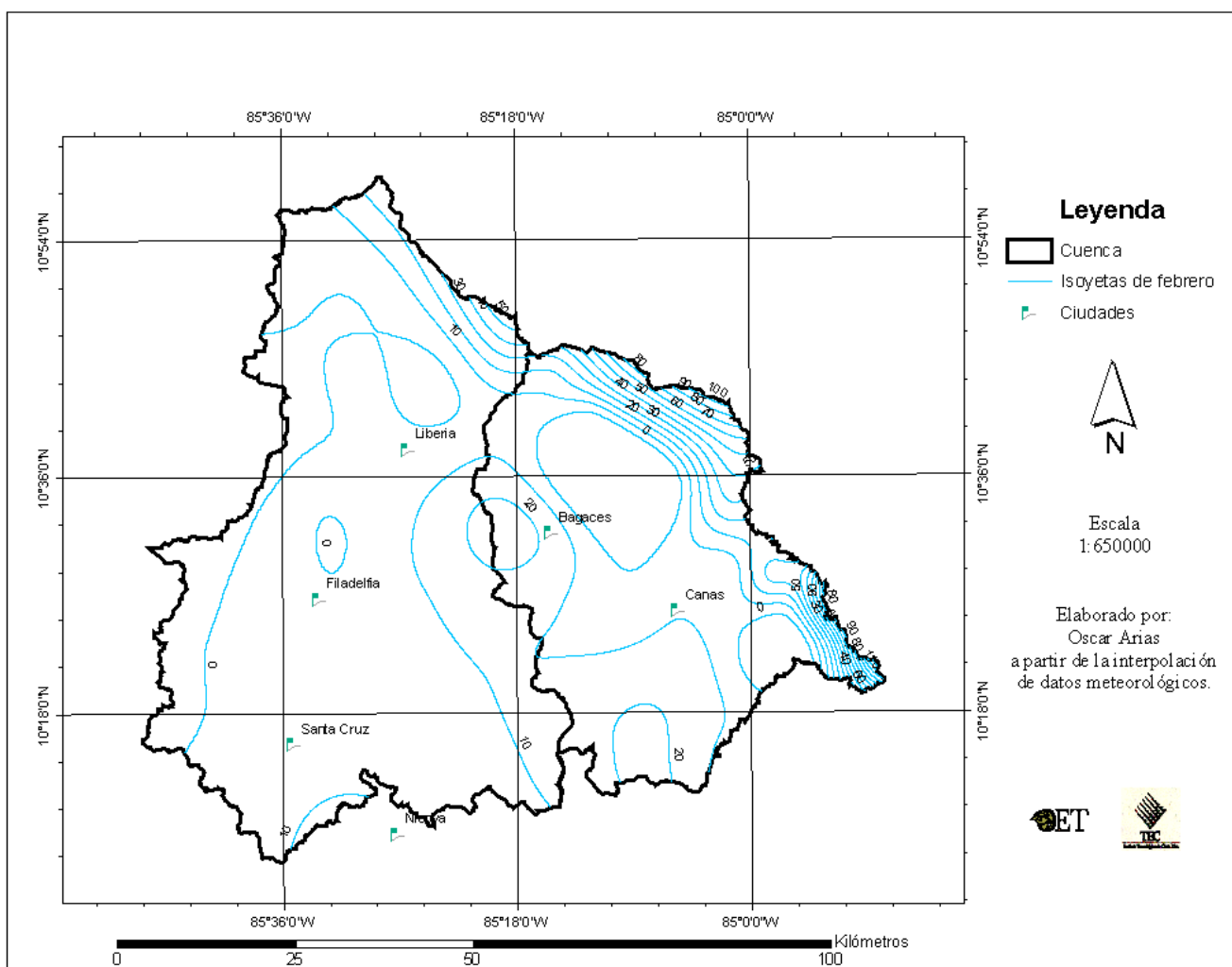
Excel

Anexo 7. Isoyetas para el mes de Enero de la Cuenca del Río Tempisque.



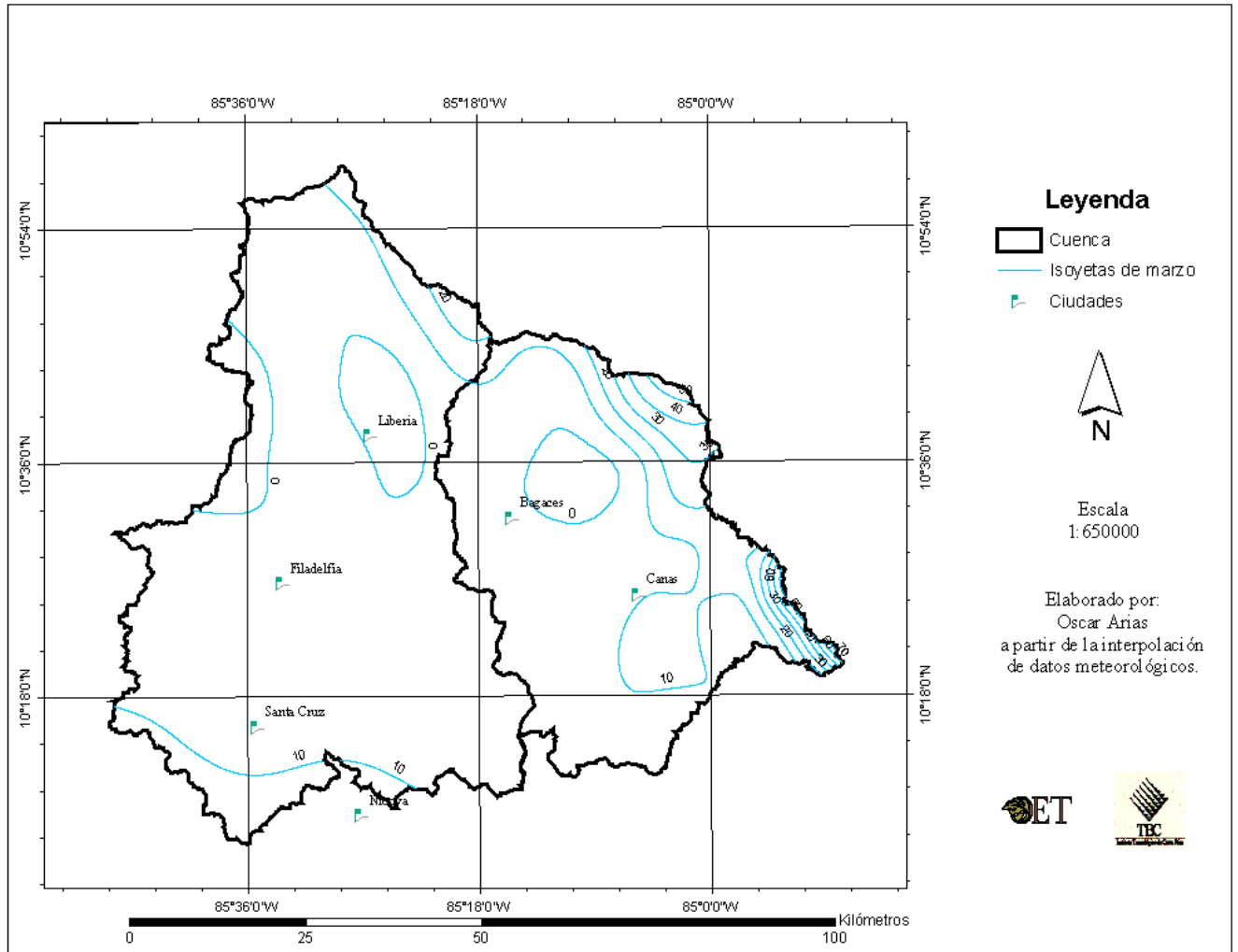
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 8. Isoyetas para el mes de Febrero de la Cuenca del Río Tempisque.



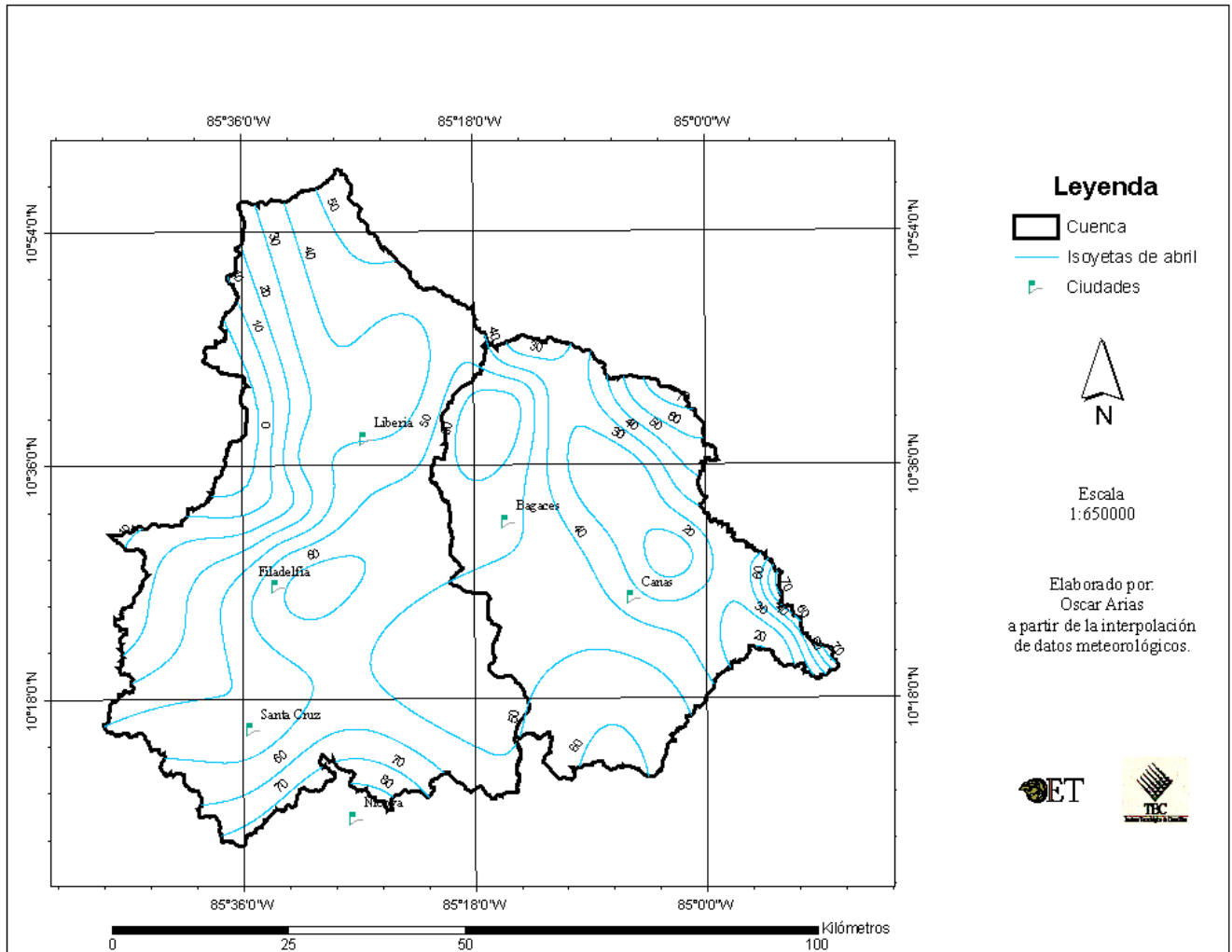
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 9. Isoyetas para el mes de Marzo de la Cuenca del Río Tempisque.



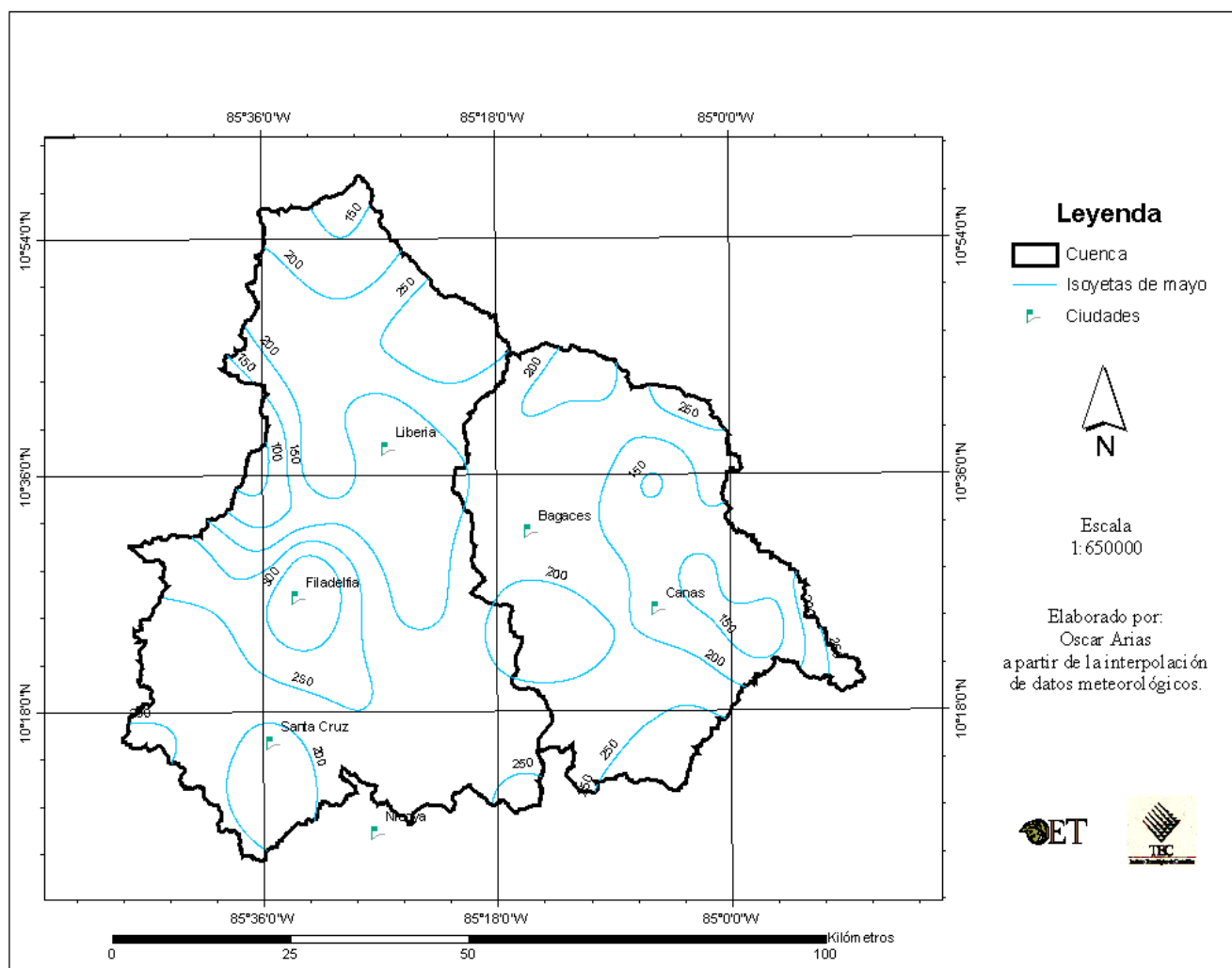
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 10. Isoyetas para el mes de Abril de la Cuenca del Río Tempisque.



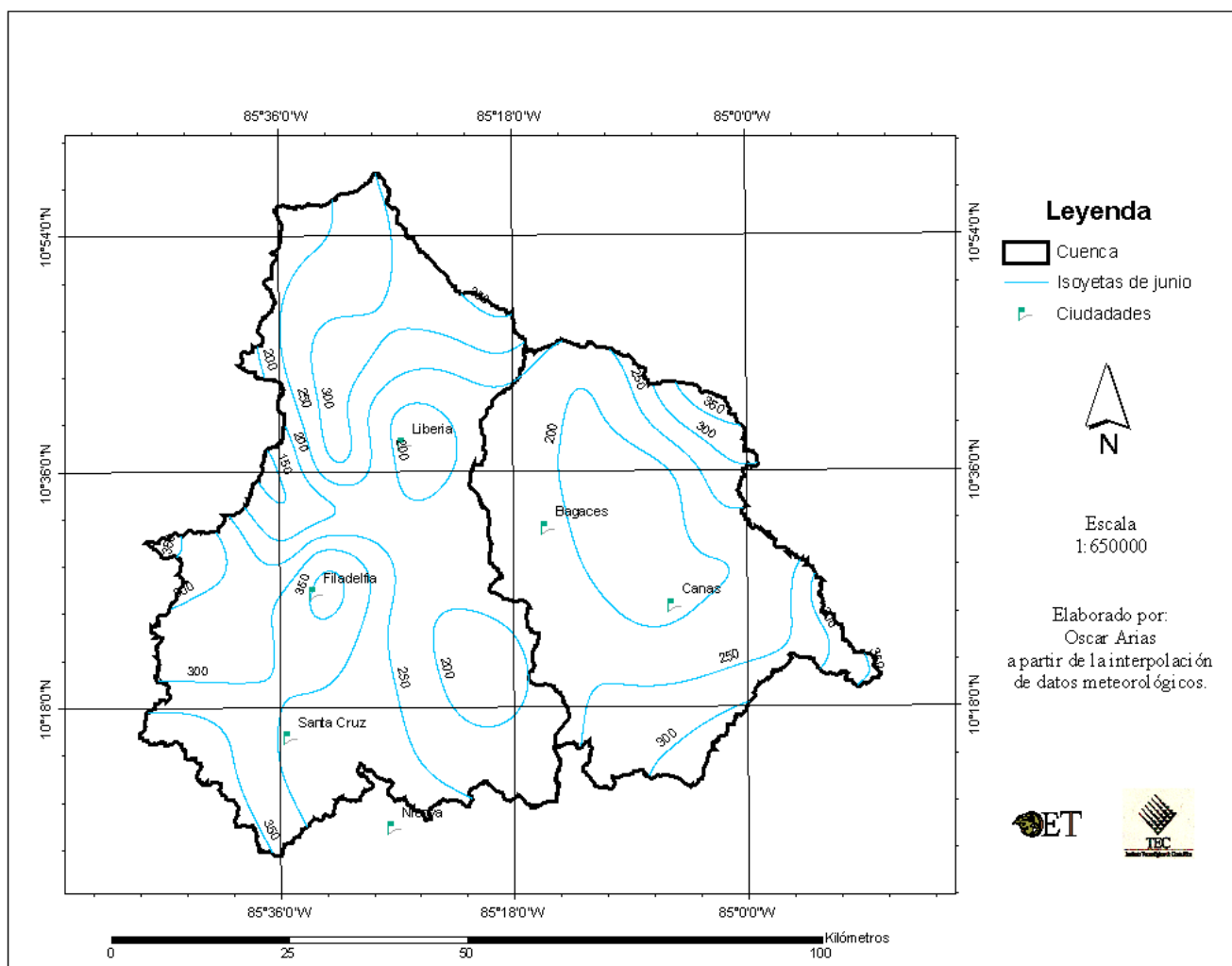
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 11. Isoyetas para el mes de Mayo de la Cuenca del Río Tempisque.



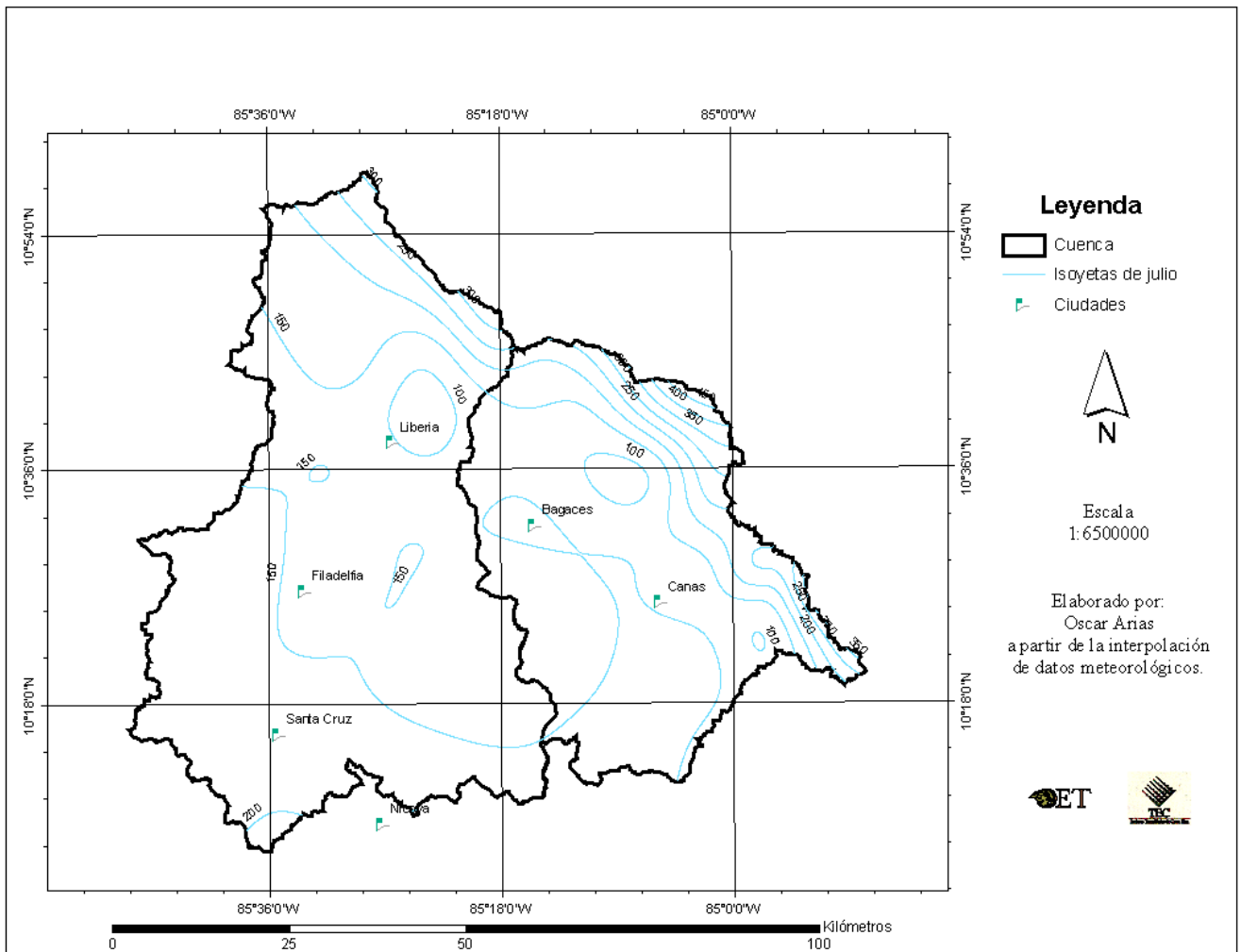
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 12. Isoyetas para el mes de Junio de la Cuenca del Río Tempisque.



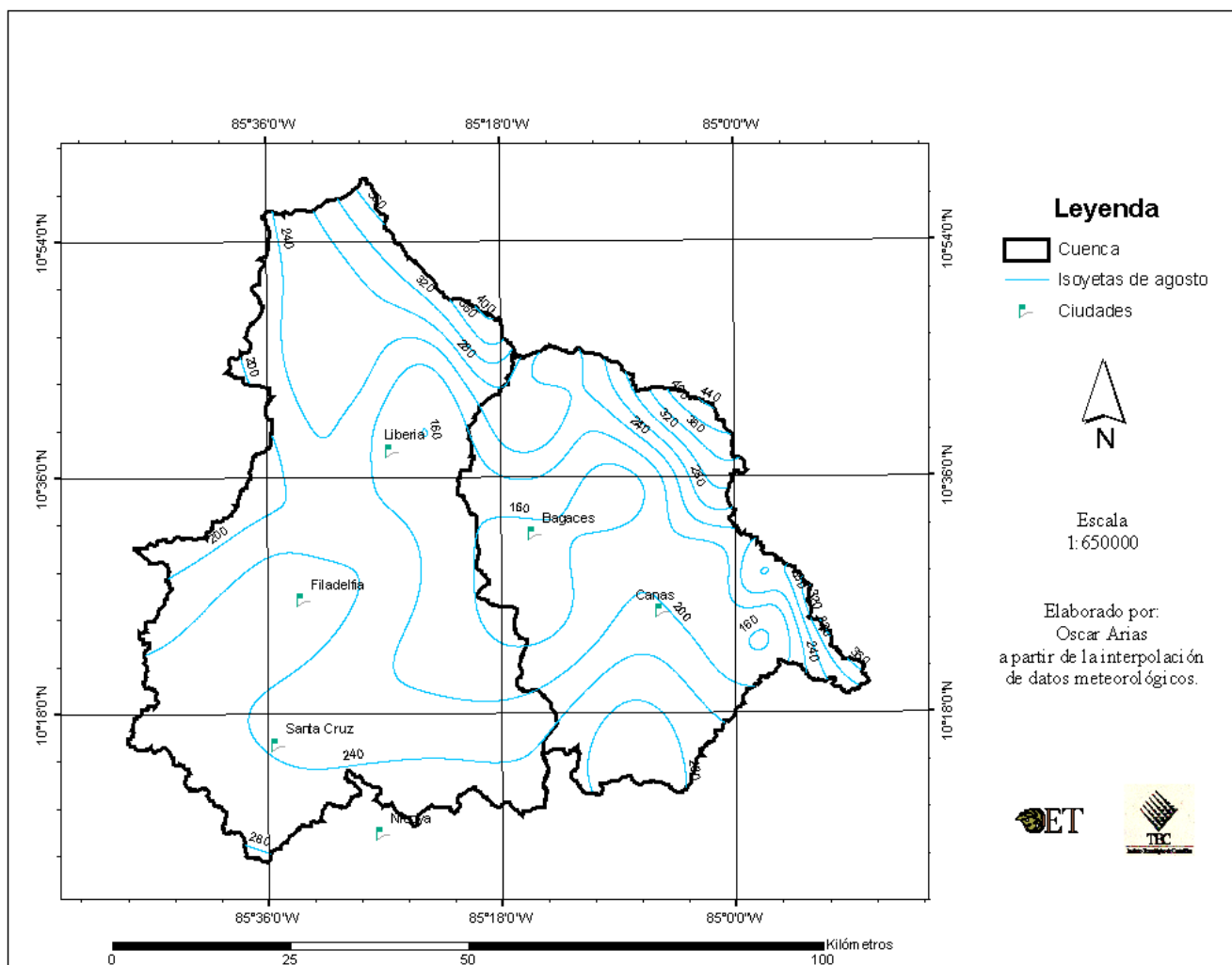
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 13. Isoyetas para el mes de Julio de la Cuenca del Río Tempisque.



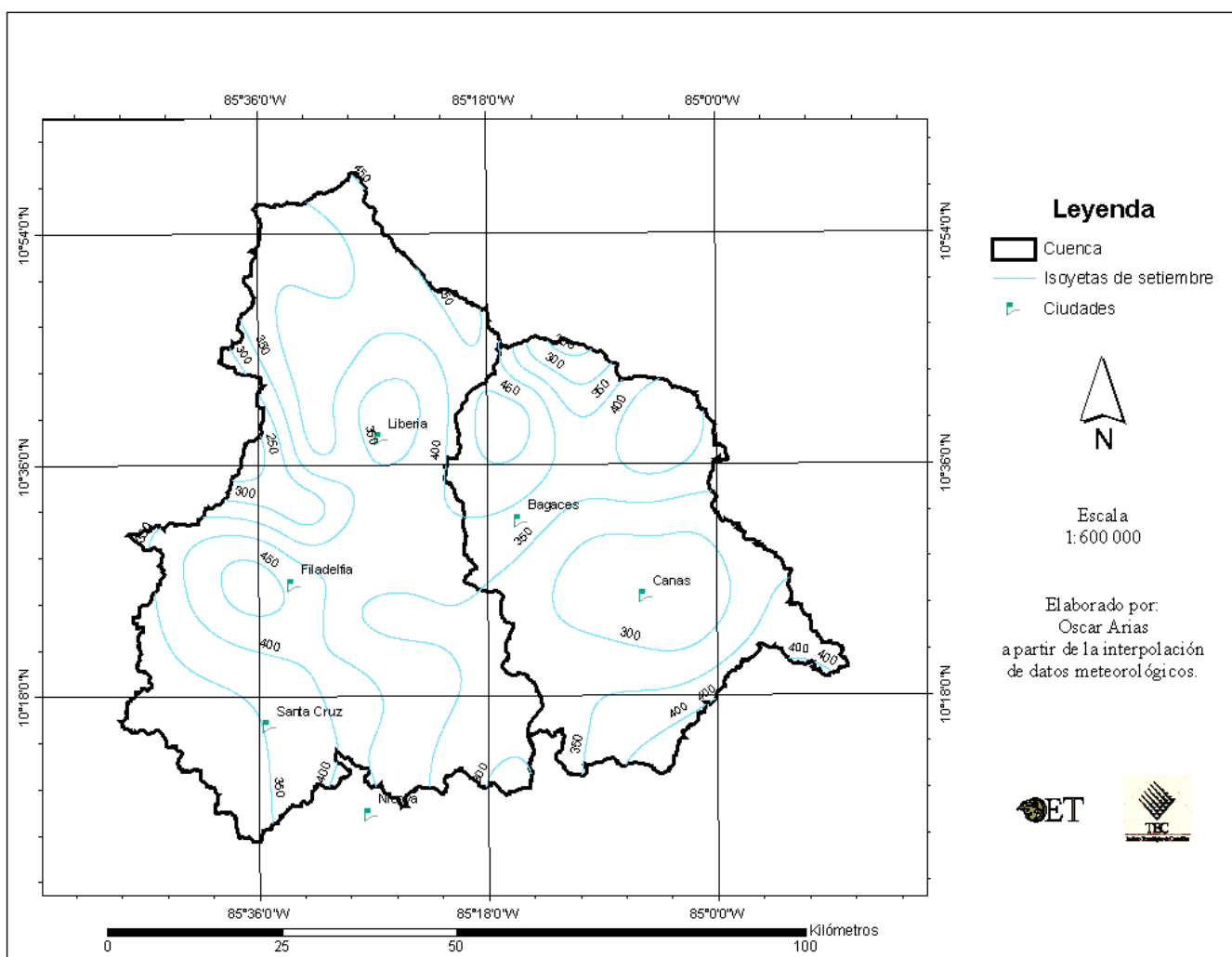
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 14. Isoyetas para el mes de Agosto de la Cuenca del Río Tempisque.



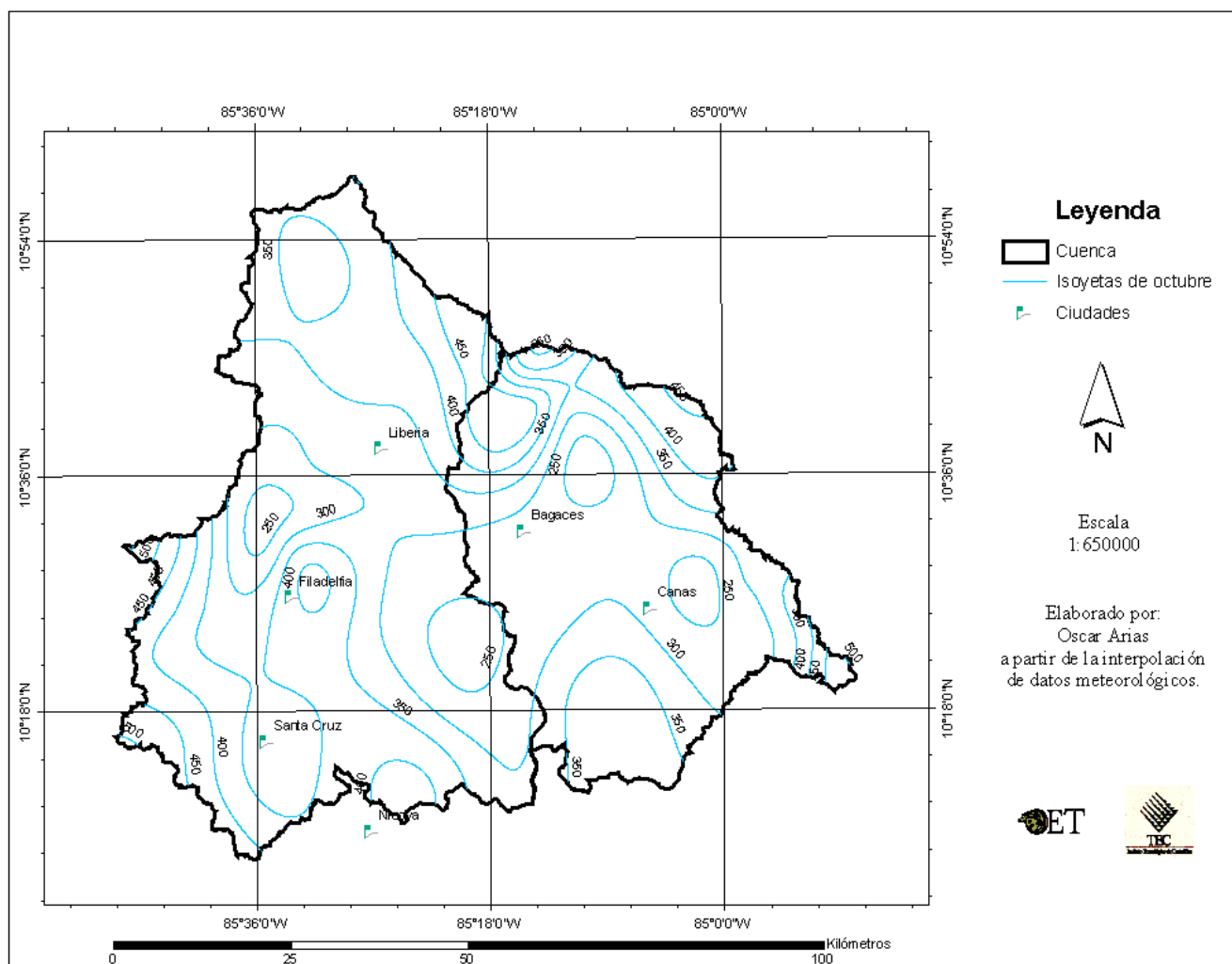
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 15. Isoyetas para el mes de Setiembre de la Cuenca del Río Tempisque.



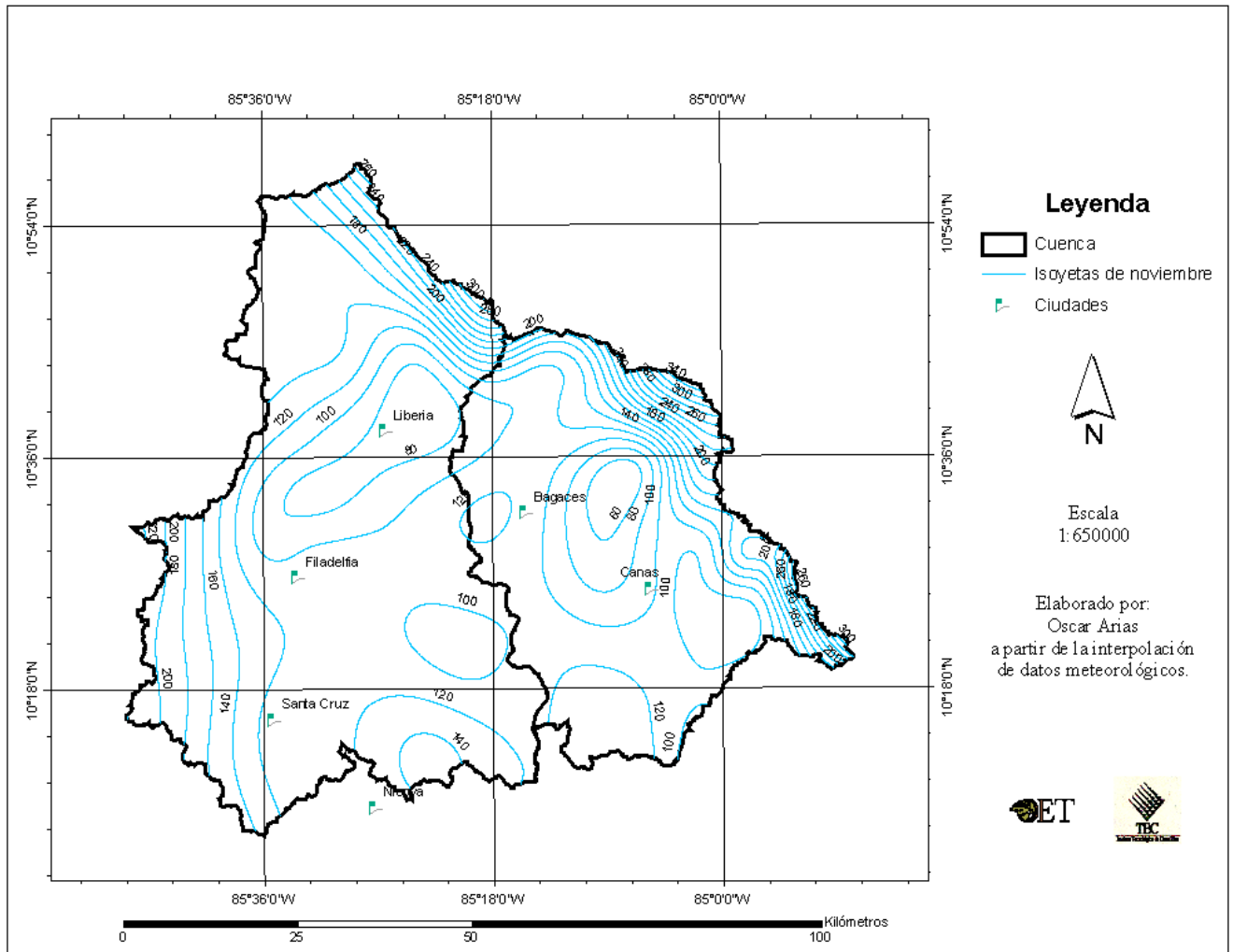
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 16. Isoyetas para el mes de Octubre de la Cuenca del Río Tempisque.



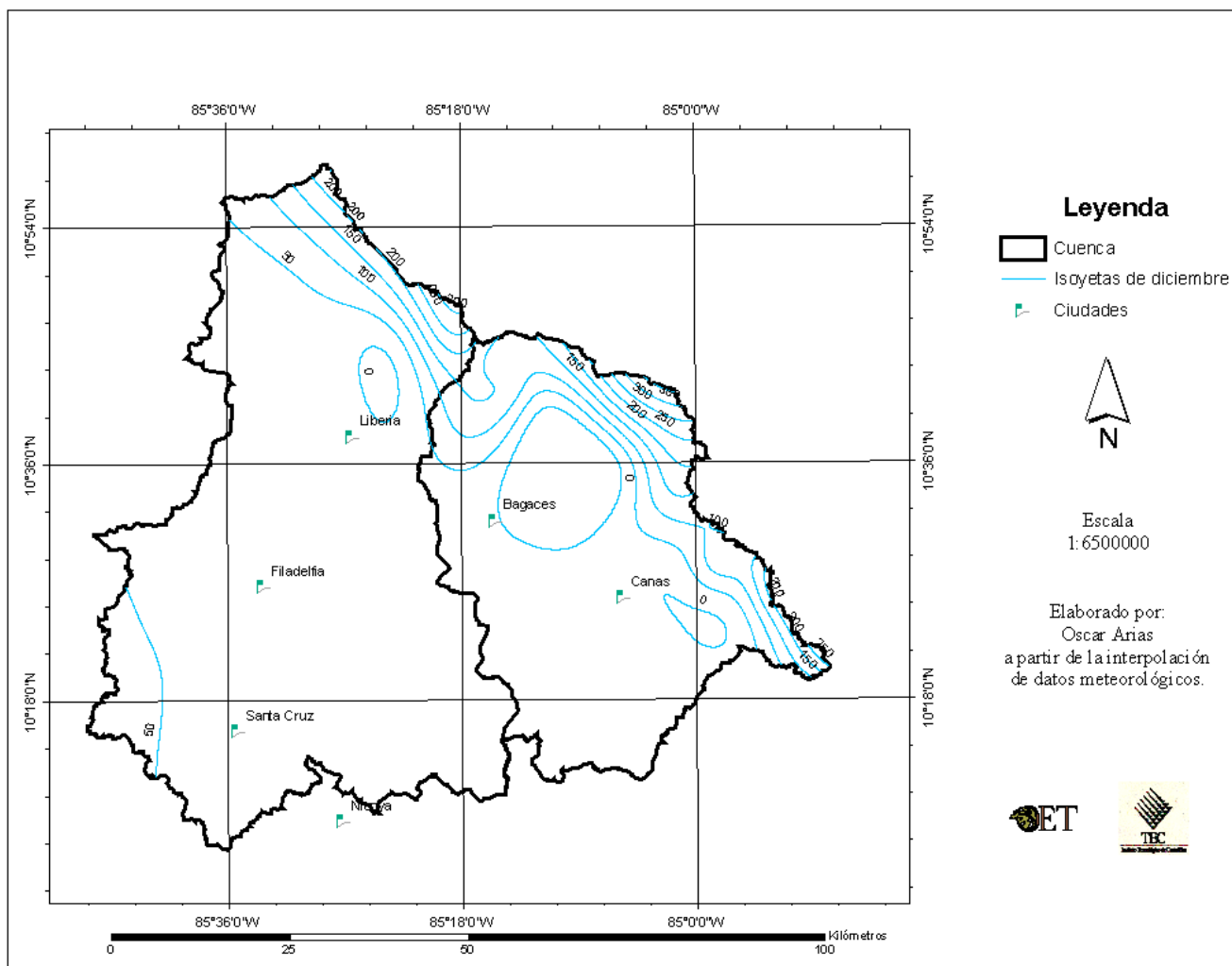
ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 17. Isoyetas para el mes de Noviembre de la Cuenca del Río Tempisque.



ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 18. Isoyetas para el mes de Diciembre de la Cuenca del Río Tempisque.



ArcMap 8.1, Arc/Info 8.1

Anexo 19. Estimación de la lluvia media, anual y mensual, según Isoyetas del estudio realizado por la Organización para Estudios Tropicales en las Subcuencas Tempisque y Bebedero.

Isoyetas	Precipitación (mm)		Precipitación (mm)
	Subcuenca		Total Cuenca
	Bebedero	Tempisque	TEMPISQUE
Anual	1794	1719	1766
Enero	8	19	12
Febrero	4	12	7
Marzo	7	10	8
Abril	33	36	34
Mayo	235	210	226
Junio	282	255	272
Julio	167	161	165
Agosto	232	215	225
Setiembre	363	330	350
Octubre	345	316	334
Noviembre	111	120	114
Diciembre	26	42	32

Fuente: Estudio OET.

Excel

Anexo 20. Estimación de la lluvia media, anual y mensual, según Isoyetas del estudio realizado por el Centro Científico Tropical en las Subcuencas Tempisque y Bebedero.

Isoyetas	Precipitación (mm)		Precipitación (mm)
	Subcuencas		Total Cuenca
	Bebedero	Tempisque	TEMPISQUE
Anual	1746	1630	1688
Enero	6	8	7
Febrero	3	6	5
Marzo	7	9	8
Abril	33	34	34
Mayo	231	209	220
Junio	272	245	258
Julio	164	150	157
Agosto	230	204	217
Setiembre	345	319	332
Octubre	326	310	318
Noviembre	107	106	107
Diciembre	22	30	26

Fuente: Estudio CCT.

Excel

